



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**“DISEÑO DE UN MOLINO DE RODILLOS PARA MOLIENDA DE
GRANOS, DESTINADO AL ÁREA DE ALIMENTOS DEL
CESTTA-ESPOCH.”**

**TESIS DE GRADO
Prevía la obtención del Título de:
INGENIERO QUÍMICO**

CÉSAR GERMÁN SALAS LARA.

RIOBAMBA * ECUADOR
2012**

AGRADECIMIENTO

El agradecimiento infinito a Dios por darme la luz del conocimiento y perseverancia para concluir el presente trabajo

A mis padres, por ser los principales gestores de la formación académica que culmina; ya que con sus consejos, enseñanzas y sustento, han logrado guiarme por el duro camino de la vida

De igual manera expresamos nuestro agradecimiento a los Ingenieros: Mario Villacrés y José Usiña. Director y Miembro del Tribunal de Tesis, quienes aportaron con sus conocimientos, experiencia y esfuerzo para la culminación de este trabajo de investigación.

De igual manera agradecer a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo particularmente a la Escuela de Ingeniería Química por brindarme la oportunidad de formarnos profesional e íntegramente.

Finalmente a todos mis familiares, compañeros y amigos que de una u otra manera colaboraron para realizar este sueño.

DEDICATORIA.

A mis queridos padres, César y Lupe por su apoyo constante para concluir mi carrera universitaria. A mi esposa e hija Elizabeth y Emily, quienes son un pilar fundamental en mi vida. A mis hermanos Danny y Doménica por su cariño y apoyo incondicional

César Germán

HOJA DE FIRMAS

NOMBRE	FIRMA	FECHA
Dra. Yolanda Díaz DECANA FAC. CIENCIAS	-----	-----
Ing. Mario Villacrés DIRECTOR ESC. ING. QUÍMICA	-----	-----
Ing. Mario Villacrés DIRECTOR DE TESIS	-----	-----
Ing. Jose Usiña MIEMBRO DEL TRIBUNAL	-----	-----
Lic. Carlos Rodríguez DIRECTOR CENTRO DOCUMENTACIÓN	-----	-----

HOJA DE RESPONSABILIDAD

“Yo **CÉSAR GERMÁN SALAS LARA**, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis; y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO”

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

D:	Dureza del grano (Kg)
σ :	Esfuerzo de compresión (Kg/cm^2)
F:	Fuerza a la compresión (Kgf)
A:	Angulo de separación entre los rodillos.
Dt:	Diámetro medio de las partículas añadidas
Df:	Diámetro medio de las partículas finales
Dr:	Diámetro de los rodillos
l :	Longitud de arco de contacto entre el maíz y los rodillos
Q:	Caudal másico ó cantidad a triturar (m^3/h)
ρ :	Densidad del maíz (720 Kg/m^3)
q_c :	Carga unitaria (Kg/cm)
$\sigma_{t.}$:	Resistencia de ruptura (Kg/cm^2)
L:	Longitud del rodillo (cm)
Ig:	Inercia de masa total (Kg m^2)
d:	Diámetro del eje (m)
ρ_{ac} :	Densidad del acero inoxidable (Kg/m^3)
P:	Potencia del rodillo (watts)
T:	Torque en el rodillo (Nm)

ω :	Velocidad angular del rodillo (rad/s)
μ :	Coeficiente de rozamiento (adimensional)
r :	Radio del rodillo de compresión (m)
L_r :	Distancia entre centros (m)
Θ_r :	Diámetro del rodillo (m)
Θ_f :	Diámetro final de la partícula (m)
D_e :	Diámetro exterior del tornillo (m)
m :	Módulo de generación del diente (mm)
k :	Factor de velocidad según el número de hilos
n_s :	Factor de seguridad

INDICE DE CONTENIDOS

Pp:

PORTADA

AGRADECIMIENTO

DEDICATORIA

HOJA DE FIRMAS

HOJA DE RESPONSABILIDAD

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

ÍNDICE DE CONTENIDOS

INDICE DE TABLAS

INDICE DE CUADROS

INDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE ANEXOS

RESUMEN..... i

SUMMARY..... ii

INTRODUCCIÓN..... iii

JUSTIFICACIÓN..... v

OBJETIVOS..... vi

CAPITULO I

1. MARCO TEÓRICO..... 1

1.1 MAIZ..... 1

1.1.1. HISTORIA DEL MAIZ..... 2

1.1.2. CLASIFICACION TAXONOMICA.....2

1.1.2.1. TIPOS DE MAIZ.....2

1.1.2.1.1. MAIZ DURO.....	2
1.1.2.1.2. MAIZ DENTADO.....	3
1.1.2.1.3. MAIZ HARINOSO.....	3
1.1.2.1.4. MAIZ REVENTON.....	3
1.1.3. CARACTERISTICAS DEL GRANO ECUATORIANO.....	3
1.1.4. ESTRUCTURA FÍSICA Y COMPOSICIÓN DEL GRANO DE MAÍZ.....	6
1.1.4.1. PERICARPIO.....	6
1.1.4.2. ENDOSPERMO.....	7
1.1.4.3. GERMEN.....	7
1.1.5. COMPOSICION QUIMICA DEL GRANO DE MAIZ.....	8
1.1.5.1 ALMIDONES.....	9
1.1.5.2. LIPIDOS.....	10
1.1.5.3. PROTEINAS.....	10
1.1.5.4. VITAMINAS.....	11
1.1.5.6. DUREZA.....	11
1.1.5.6.1. PORCENTAJE DE HUMEDAD.....	13
1.2. REDUCCION DEL TAMAÑO DE PARTICULA.....	13
1.2.1. NATURALEZ DE LAS FUERZAS EN LA REDUCCION DE TAMAÑO.....	14
1.2.2. CRITERIOS DE DESINTEGRACION MECANICA.....	14
1.2.3. CARACTERISTICAS QUE REGULAN LA SELECCIÓN DE LOS APARATOS.....	15
1.2.3.1 DUREZA DE LOS ALIMENTOS.....	15
1.2.3.2. ESTRUCTURA MECANICA DE LOS PRODUCTOS DE PARTIDA.....	16
1.2.3.3. HUMEDAD.....	16

1.2.3.4. SENSIBILIDAD A LA TEMPERATURA DE LAS MATERIAS DE PARTIDA.....	17
1.3. APARATOS DE REDUCCION DE TAMAÑO.....	18
1.3.1. TRITURADORA DE RODILLOS.....	18
1.3.1.1. ANGULO DE SEPARACION.....	19
1.3.1.2. CAPACIDAD DE TRITURACION DE LOS RODILLOS.....	20
1.3.1.3. LONGITUD DE CONTACTO.....	20
1.3.2. MOLINO DE MARTILLO.....	21
1.3.3. MOLINO DE DISCOS.....	22

CAPÍTULO II

2. PARTE EXPERIMENTAL.....	25
2.1. SIMULADOR DEL PROCESO.....	25
2.2. TOMA DE DATOS EXPERIMENTALES.....	25
2.2.1. MOLIENDA A 220 RPM.....	25
2.2.2. MOLIENDA A 190 RPM.....	26
2.3. MATRIZ DE TOMA DE DECISION.....	27

CAPITULO III

3. DISEÑO.....	28
3.1. TRITURADORA DE RODILLOS.....	28

3.2. DISEÑO DE LOS ELEMENTOS MECANICOS DE LA TRITURADORA.....	29
3.2.1. CARACTERISTICAS DEL PRODUCTO A TRITURAR.....	29
3.2.2. DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE FRICCION.....	31
3.2.3. DISEÑO DE RODILLOS.....	32
3.2.3. 1. NUMERO DE RODILLOS.....	32
3.2.3. 2. ANGULO DE SEPARACION ENTRE LOS RODILLOS.....	32
3.2.3. 3. DIAMETRO DE RODILLOS.....	33
3.2.3. 4. LONGITUD DE CONTACTO.....	34
3.2.3. 5. LONGITUD DE LOS RODILLOS.....	34
3.2.3. 6.CARGAS EN LOS RODILLOS.....	36
3.2.3. 6.1. CARACTERISTICAS DEL ACERO INOXIDABLE.....	37
3.2.3. 7. DISEÑO GEOMETRICO DEL EJE.....	39
3.2.3. 8. DISEÑO MECANICO DEL EJE.....	40
2.3.8.1. POTENCIA DE LOS RODILLOS DEBIDO A LA CARGA A TRITURAR.....	41
3.2.3.8.1.1. MOMENTO DE INERCIA DE LA MASA TOTAL.....	41
3.2.3.8.1.2. POTENCIA REQUERIDA PARA TRITURAR EL MAIZ.....	44

3.2.3.8.1.3. CALCULO DE LA POTENCIA Y SELECCIÓN DEL MOTOR PARA TRITURAR EL MAIZ.....	45
3.2.3.9. CALCULO DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA DE TRANSMISION.....	46
3.2.3.9.1. RUEDAS DENTADAS.....	46
3.2.3.9.2. MOTO-REDUCTOR DE CORONA Y SIN FIN.....	49
3.2.4. CALCULO DE ESFUERZOS SOBRE EL EJE MOTRIZ.....	50
3.2.5. SELECCIÓN DE LOS RODAMIENTOS.....	53
3.2.5.1. CALCULO DE LAS CARGAS DINAMICAS.....	53
3.2.5.2. FORMULA DE LA DURACION.....	53
3.3. COSTOS.....	54
3.3.1. ANALISIS DE COSTOS.....	54
3.3.2. COSTOS DE MATERIALES.....	54

CAPITULO IV

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	57
4.1. DISCUSIÓN DE ALTERNATIVAS.....	58
4.2.1. ALTERNATIVA 1: MOLINO DE RODILLOS.....	58
4.2.1.1. Ventajas:.....	58
4.2.1.2. Desventajas:.....	58
4.2.2. ALTERNATIVA 2: MOLINO DE MARTILLOS.....	58

4.2.2.1.	Ventajas:.....	58
4.2.2.2.	Desventajas:.....	58
4.2.3.	ALTERNATIVA 3: MOLINO DE DISCOS.....	59
4.2.3.1.	Ventajas:.....	59
4.2.3.2.	Desventajas:.....	59
4.3.	SELECCIÓN DE ALTERNATIVA.....	59
4.3.1.	PARÁMETROS CONSIDERADOS.....	59
4.3.1.1.	Homogeneidad de la partícula.....	59
4.3.1.2.	Grado de Contaminación.....	60
4.3.1.3.	Costo.....	60
4.3.1.4.	Tamaño y Peso.....	60
4.3.1.5.	Vida Útil.....	60
4.3.1.6.	Ruido.....	60
4.4.	MEJOR ALTERNATIVA.....	61

CAPITULO V

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	62
5.1.	CONCLUSIONES.....	62
5.2.	RECOMENDACIONES.....	63
	BIBLIOGRAFÍA.....	64
	ANEXOS.....	65

INDICE DE TABLAS

TABLA 2.2.1-1.	Datos Experimentales a 220 rpm.....	25
TABLA 2.2.1-2.	Promedio de los Datos Experimentales a 220 rpm.....	25
TABLA 2.2.2-1.	Datos Experimentales a 190 rpm.....	26
TABLA 2.2.2-2.	Promedio de los Datos Experimentales a 190 rpm.....	26
TABLA 2.3-1.	Matriz de Decisión.....	27
TABLA 3.2.2-2.	Determinación del coeficiente de fricción entre el maíz sobre el acero inoxidable.....	31
TABLA 3.2.3.6.1-1	Características químicas del acero inoxidable.....	38
TABLA 3.2.3.6.1-2	Análisis químico según Norma Nacional NMX B-83.....	38
TABLA 3.2.3.6.1-3	Tratamientos Térmicos recomendados.....	39
TABLA 3.2.3.6.1-4	Propiedades mecánicas típicas según NMX B - 83, de barras en estado recocido.....	39
TABLA 3.9.2-1	Costos de materiales.....	55
TABLA 3.9.2-2	Costos de Maquinado y mano de obra.....	55
TABLA 3.9.2-3	Resumen del molino.....	57

INDICE DE CUADROS

CUADRO 1 Características físicas de los granos de las variedades de maíz dulce Blanco y morocho pequeño amarillo durante el proceso de maduración.....	5
CUADRO 2. Sinopsis de la estructura del grano de maíz.....	6
CUADRO 3. Composición promedio de las partes componentes del grano de maíz.....	8
CUADRO 4. Análisis proximal del grano de maíz.....	9
CUADRO 5. Tipos de fuerzas de los Molinos.....	14

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1-1 Maíz.....	1
FIGURA 1.3.1-1 Triturador de Rodillos.....	19
FIGURA 1.3.2-1 Molino de martillos.....	21
FIGURA 1.3.3-1. Molino de Disco de Frotamientos.....	22
FIGURA 1.3.4.1-1. Molino de Bolas.....	23
FIGURA 2.2.2-1 Balanza.....	26
FIGURA 2.2.2-2 Molino Kitchen Aid.....	27
FIGURA 3.1-1 Rodillos Trituradores.....	28
FIGURA 3.2.2-1 Determinación experimental del coeficiente de fricción.....	30
FIGURA 3.2.3.7-2 Boceto del eje.....	40
FIGURA 3.2.3.8-1 Diagrama de Esfuerzos sobre el eje motriz.....	40
FIGURA 3.2.3.9.1-1 .Diagrama del sistema de transmisión de potencia.....	46
FIGURA 3.2.4-1 Diagrama del sistema de transmisión de potencia.....	50
FIGURA 3.2.4-2 Gráfico de reacciones obtenidas en el programa MDSolids.....	51

INDICE DE ANEXOS

ANEXO I Molino de Rodillos

ANEXO II Características del Molino

ANEXO III Dimensiones del Molino de Rodillos

ANEXO IV Despiece del Molino de Rodillos

ANEXO V Rodillo

ANEXO VI Rodillos

ANEXO VII Ruedas Dentadas

ANEXO VIII Soporte de Rodamiento

ANEXO IX Tapas Frontales

ANEXO X Tapas Laterales

ANEXO XI Vista de Molino de Rodillos

RESUMEN

Diseñar un Molino de Rodillos para molienda de granos para satisfacer las necesidades de trituración de granos del área de alimentos del Centro de Servicios Técnicos y Transferencia Tecnológica Ambiental (CESTTA), de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Se realizó la parte experimental en el cual se trituro cuatro cargas a diferentes tiempos y revoluciones para observar cuales son las condiciones de proceso optimas para el diseño de nuestro molino. La simulación se hizo en el molino Kitchen Aid, modelo K5SSWH. Motor de uso rudo de 250 Watts a 120 Volts con protector térmico, color blanco. Medidas: 0.22 x 0.36 x 0.35 mts.

El equipo tiene una carga de 5kg/h, consta de tres rodillos ubicados uno con respecto a otro formando un triángulo equilátero lo que nos permite triturar al grano de forma suave y progresiva, evitando la fricción excesiva y la requema del grano, el un rodillo trabajara a 21 rpm y en los dos rodillos restantes se aplicará la potencia de 7 rpm.

Las características de los rodillos son: Los tres rodillos van a tener un ángulo de separación de $47,1529^\circ$, de diámetro final de 90 mm, la longitud de los rodillos es 50 mm, la longitud de contacto entre los granos y los rodillos es de 6,54 mm.

Acorde con la realidad del proyecto, este va a ser utilizado en el laboratorio para realizar ensayos de fibras y proteínas, el laboratorio dispone de energía eléctrica de tensión 110 V, por lo cual se ha seleccionado un motor de 500 watts de potencia, y un sistema de reducción de velocidad.

El material que se recomienda es acero inoxidable apto para alimentos como el AISI 308L solo en lámina (plancha) y AISI 316 en barra (eje).

ABSTRACT

This paper deals with designing a Roller Grinder to grind grains to meet the area grinding needs of food of the Technical and Environmental Technology Transference Center (CESTTA) of the Science Faculty of the Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

The experimental part in which four loads at different times and revolutions was carried out to observe the optimum process conditions for the grinder design. The simulation was performed in the Kitchen Aid Grinder, model K5SSWH, heavy duty motor of 250 Watts with thermal protection, white color; measures: 0.22 x 0.36 x 0.35 m.

The equipment has a 5kg/h charge; it consists of three rollers located one another, forming an equilateral which permits to grind grain in a soft and progressive way avoiding excessive friction and grain roast; one roller works with at 21 rpm and in the other two the 7 rpm power will be applied.

The roller features are: the three rollers have a separation angle of 47.1529° , 90 mm final diameter; the contact length between the grains and the rollers is 6.54 mm.

According to the project reality, it will be used at the laboratory to conduct fiber and protein trials; the lab has the 110V tension electric energy; this is why a 500 watt power has been selected as well as a velocity reduction system.

The recommended material is stainless steel suitable for such as the AISI 308L only sheet (sheet) and AISI 316 bar (axis).

INTRODUCCIÓN

Las variedades tradicionales de maíces ecuatorianos constituyen un rico patrimonio de tradiciones agrícolas y alimenticias. En el Ecuador el maíz se cultiva en todo el país excluyendo los páramos y sub-páramos (encima de los 3,000 m de altitud), con siembras concentradas en las provincias de Loja, Azuay y Pichincha, y en menor medida en aquellas de Bolívar, Chimborazo, Tungurahua e Imbabura (región de Sierra). Este cultivo está presente en las provincias costaneras de Manabí, seguida por Esmeralda y Guayas en la Costa y en la provincia de Pastaza en la Selva. El maíz habría cruzado el istmo de Panamá hace 5,000 años a.C., entrando al territorio colombiano, para luego alcanzar la costa ecuatoriana.

El término reducción de tamaño se aplica a todas las formas en las que las partículas de sólidos se pueden cortar o romper en piezas más pequeñas. Durante los procesos industriales, la reducción de tamaño de sólidos se lleva a cabo por diferentes métodos y distintos fines.

La finalidad de este tipo de molino es solventar la materia prima para el análisis de las características del maíz en el ámbito del laboratorio de alimentos del CESTTA, el proceso que realiza el molino para la molienda del maíz es atrapar y arrastrar las partículas entre los rodillos, sometiéndose a una fuerza de compresión que las tritura. En algunos molinos los rodillos giran a diferente velocidad, dando lugar también a fuerzas de cizallamiento en el diseño se considera este principio para facilitar la trituración del maíz y obtener el tamaño

de grano adecuado para el análisis de proteínas evitando así el exceso de fricción y por ende la degradación de la composición química de los granos.

Este trabajo pretende darle un mayor valor agregado al análisis bromatológico de maíz mediante un proceso de molienda que ayudará a la reducción del tamaño de los granos conservando las propiedades químicas propias de los granos para obtener resultados reales.

Teniendo en cuenta lo anterior, esta investigación se basa en ensayos de simulación realizados en un molino similar lo cual nos permitió obtener datos que se utilizarán en el diseño de un molino de rodillos para granos, su modelación se basa en ecuaciones matemáticas tomadas para este tipo de estudios.

El diseño del equipo se destinará para el Centro de Servicios Técnicos y Transferencia Tecnológica Ambiental (CESTTA), y a un futuro mediano para su construcción e implementación para realizar los ensayos bromatológicos.

JUSTIFICACIÓN

El Centro de Servicios Técnicos y Transferencia Tecnológica Ambiental (CESTTA), se ve en la necesidad de tener el laboratorio debidamente equipado para realizar los diferentes ensayos que se practican.

Este estudio tiene como finalidad realizar el diseño de un molino de partículas finas para granos destinado al área de alimentos del CESTTA, este es un equipo destinado a la reducción de tamaño de los granos para poder realizar los ensayos bromatológicos en el laboratorio.

Por este motivo se ha visto la necesidad del diseño del mencionado equipo para el Centro de Servicios Técnicos y Transferencia Tecnológica Ambiental (CESTTA) de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH, para satisfacer los requerimientos dentro del laboratorio de alimentos y así poder dar un adecuado manejo y utilización de equipos pilotos a los profesiones y a los estudiantes que realizan sus prácticas preprofesionales y así mismo capacitarlos para que puedan defenderse a futuro en un excelente campo laboral, se busca ampliar el conocimiento de los fundamentos y métodos de Molienda empleados más comúnmente en la industria, así como la aplicación de dichos conceptos para la realización de diseños básicos que dependen de la dureza de los granos y de las condiciones del proceso.

Mediante éste equipo se podrá adaptar la fundamentación teórica recibida en las aulas de clases a la aplicación práctica realizada en el laboratorio de Operaciones Unitarias

complementando el aprendizaje, buscando poder brindar a la sociedad profesionales de alta competitividad y que respondan a los requerimientos de la industria.

Con el diseño de equipos, en la actualidad representa una posibilidad certera en el campo ocupacional y ejercicio profesional para generar posibilidades de desarrollo y bienestar social.

OBJETIVOS

GENERAL

- Diseñar un Molino de Rodillos para molienda de granos, destinado al Área de Alimentos del CESTTA-ESPOCH.

ESPECÍFICOS

- Realizar la simulación del proceso de molienda para granos.
- Tomar los datos experimentales para identificar las Variables de Proceso.
- Realizar la matriz de datos para toma de decisión.
- Realizar el diseño de ingeniería para molienda de granos, en base a las Variables de Proceso definidas.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

CAPITULO I

1. MARCO TEORICO

1.1 MAIZ, Zea Mays



Fig. 1.1-1 Maíz

“El maíz es la planta más domesticada y evolucionada del reino vegetal. El origen y la evolución del maíz han sido un misterio porque el maíz ha llegado a nosotros altamente evolucionado, sin conocerse formas intermedias. A pesar de extensivas búsquedas de las formas silvestres de esta planta, no ha sido encontrada alguna.

Mientras que los cereales del Viejo Mundo tienen variedades silvestres que se preservan en la naturaleza, el maíz es conocido solamente por la especie cultivada (*Zea mays*). Desde el siglo pasado diversas teorías han sido expuestas para explicar el origen y la evolución del maíz, la más popular de ellas acepta al teocintle de Chalco (*Zea mays* ssp *mexicana*) como el antecesor directo del maíz.

El maíz pertenece a la familia de las gramíneas. La planta alcanza de medio metro a seis metros de alto. Las hojas forman una larga vaina íntimamente arrollada al tallo y un limbo

más ancho, alargado y flexuoso.”¹

1.1.1 HISTORIA

“El maíz es un cereal nativo de América, cuyo centro original de domesticación fue Mesoamérica, desde donde se difundió hacia todo el continente. No hay datos sobre cuándo se empezó a domesticar el maíz, pero los indígenas mexicanos dicen que esta planta representa, para ellos, diez mil años de cultura. El nombre maíz, con que se lo conoce en el mundo de habla española, proviene de mahís, una palabra del idioma taíno, que hablaban pueblos indígenas de Cuba, donde los europeos tuvieron su primer encuentro con este cultivo. La región andina es uno de los centros de origen de la agricultura. Diversas sociedades andinas crearon los sistemas productivos, adaptados a distintos pisos ecológicos y domesticaron una gran cantidad de cultivos que fueron la base de su dieta. Aunque en Sud América no se domesticó el maíz, éste cultivo fue introducido tempranamente en el mundo andino y desde entonces ha sido mejorado intensamente”²

1.1.2 CLASIFICACION TAXONOMICA

Nombre común o vulgar: “Maíz dulce, Choclo, Elote

Nombre científico o latino: *Zea mays* var. *Saccharata*

Familia: Poáceas (Gramíneas).

1.1.2.1 TIPOS DE MAIZ

1.1.2.1.1 MAIZ DURO.- -“Los granos de este tipo de maíz son redondos, duros y suaves al tacto. Este germina mejor que otros tipos de maíz, particularmente en suelos

¹ Maíz, [http:// www.monografias.com](http://www.monografias.com), el maíz, Hm

² Historia del Maíz, [http:// www.produccion agrícola del maíz](http://www.produccion-agricola.com), historia y origen

húmedos y fríos.

1.1.2.1.2 MAIZ DENTADO.- es el tipo de maíz cultivado más comúnmente para grano y ensilaje. El endospermo del maíz dentado tiene más almidón blando que los tipos duros y el almidón duro está limitado solo a los lados del grano.

1.1.2.1.3 MAIZ HARINOSO.- El endospermo de los maíces harinosos está compuesto casi exclusivamente de un almidón muy blando, que se raya fácilmente con la uña aún cuando no esté maduro.

1.1.2.1.4 MAIZ REVENTON.- Es una forma extrema de maíz duro con endospermo duro que ocupa la mayor parte del grano y una pequeña cantidad de almidón blando en la parte basal del mismo.”³

1.1.3 CARACTERISTICAS DEL GRANO ECUATORIANO⁴.

Las variedades tradicionales de **maíces ecuatorianos** constituyen un rico patrimonio de tradiciones agrícolas y alimenticias. En el Ecuador el maíz se cultiva en todo el país excluyendo los páramos y sub-páramos (encima de los m 3,000 de altitud), con siembras concentradas en las provincias de Loja, Azuay y Pichincha, y en menor medida en aquellas de Bolívar, Chimborazo, Tungurahua e Imbabura (región de Sierra). Este cultivo es presente en las provincias costaneras de Manabí, seguida por Esmeralda y Guayas en la Costa y en la provincia de Pastaza en la Selva. El maíz habría cruzado el istmo de Panamá hace 5,000 años a.C., entrando al territorio colombiano, para luego alcanzar la costa ecuatoriana. Desde luego la domesticación y afinamiento / evolución de las variedades tradicionales de maíces ecuatorianos se han desarrollado como sigue:

³ Tipos de Maíz, [http:// www.Consultas\MAIZ\Choclo.Tipos de maiz.com.htm](http://www.Consultas\MAIZ\Choclo.Tipos%20de%20maiz.com.htm)

⁴http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_ci/Agronomia%20Tropical/at4156/Arti/cartaya_l.htm

- Acondicionamiento en las altitudes bajas y medias de los Andes orientales,
- Formación de razas primitivas y extensión de los límites de acondicionamiento,
- Introgresión hibridativa de *Tripsacum*,
- Introducciones limitadas de maíces de otras regiones,
- Hibridación interracial y formación de razas híbridas para la Sierra,
- Selección cualitativa basadas en la composición del endospermo, el tamaño de los granos, su sabor y, por último, la posibilidad de utilizarlos para la fermentación (chicha y chicha morada), así como la productividad y la facilidad de desgrane.

El grano de maíz utilizado en la dieta ecuatoriana deriva de cultivos de variedades que pertenecen a los siguientes grupos varietales:

- *Zea maysseverta* canguiles (popcorn)
- *Zea maysamylosaccharata* maíz dulce, chullpi
- *Zea mays indurata* maíz morocho
- *Zea maysamylacea* maíz suave

Los alimentos tradicionales más destacados tienen relaciones estrictas con los diferentes tipos de grano de maíz y su manera tradicional de procesamiento de los granos. La preferencia para el grano cocido o tostado o el budín de grano no completamente maduro se refleja en la preferencia por los tipos harinosos:

- el chullpi maíz dulce del grupo *amylosaccharata*
- el maíz tierno maíz tierno en fase de maduración láctea
- el maíz cao maíz en fase cerosa
- el choclo budín de maíz fresco, aplastado y empastado
- el tamal rollitos de maíz y carne
- el mote maíz hervido como legumbre
- el tostado maíz tostado con o sin grasa
- el canguil palomitas de maíz o popcorn diferentemente confeccionado
- el pan de harina de maíz empastada y horneada
- las tortillas masa de maíz empastada y cocida sobre chapa caliente
- la chicha bebida fermentada de maíz molido

La primera descripción de las variedades ecuatorianas remonta al cronista colonial padre Juan de Velasco:

- Maíz o sara blanco y amarillo
- Canguil popcorn
- Carapali mediano, blanco con puntos rojizos
- Chullpi maíz dulce
- Negro grueso negro, grande y algo duro
- Negro mediano negro tierno
- Tumba que grueso, chato, de color pardo y tierno
- Morocho pequeño, mediano, amarillo, duro

CUADRO 1 Características físicas de los granos de las variedades de maíz dulce Blanco y morocho pequeño amarillo durante el proceso de maduración.

Variedades						
-	-	Maíz dulce		-	-	Morocho amarillo
DAB*	Largo	Ancho	Dureza	Largo	Ancho	Dureza
-	mm	Mm	kg	mm	mm	kg
16	7.30b	8.18c	1.56e	7.14b	8.10c	1.75e
19	7.46b	8.33C	2.40d	7.46b	8.18c	2.65d
22	7a78b	8.41C	2.75C	7.70b	8.33c	2.80c
25	8c73a	9.92b	3.06b	8.89a	10.16b	3.70b
28	8s97a	10.64 ^a	4.00a	9.13a	10.72a	5.15a

A medida que progresa el grado de madurez, se necesita mayor fuerza para romper los granos, es decir, la dureza aumenta con el proceso de maduración.

1.1.4 ESTRUCTURA FÍSICA Y COMPOSICIÓN DEL GRANO DE MAÍZ.

“El grano de maíz se clasifica botánicamente como un cariósido, seco indehisciente, con semillas individuales en el fruto. En esta clase de fruto, el ovario maduro no se separa fácilmente de la semilla, que es una característica de todos los granos de los cereales. El grano de maíz se adhiere en la mazorca a través del pedicelo. Además durante

el desarrollo del grano, los elementos se conducen por el pedicelo transportando los productos de la fotosíntesis. Una vez que el grano ha madurado el pedicelo sirve de sellador”.⁵

La semilla de maíz está formada por el pericarpio, el endospermo. El germen y el pedicelo como se puede observar en el Cuadro 2

Cuadro 2. Sinopsis de la estructura del grano de maíz.

Grano de maíz			
Pericarpio	Semilla		
Epidermis	Endospermo	Germen	
Mesocarpio	Capa aleurona	Escutelo	Eje embrionario
Células cruzadas			
Tubo celular		Epitelium	Plúmula
Cubierta de la semilla	Endospermo duro	Almacén de aceite Tejidos vasculares	Mesocotilo
	Endospermo suave		Raíz primaria

Fuente, Inglet (1970), citado por Gómez (1993)

1.1.4.1. Pericarpio.

“El pericarpio es la pared del ovario maduro y comprende todas las capas exteriores de la célula hasta el recubrimiento de la semilla. A lo largo de su superficie interior se adhiere a la cubierta de la semilla o testa. Como se indica en el Cuadro 3. El pericarpio representa del 5 al 6% de peso seco del grano. Y todas las capas del pericarpio

⁵ Inglet, 1970

están compuestas de células muertas, epidermis, células cruzadas y tubulares.”⁶

1.1.4.2 Endospermo.

El endospermo constituye del 82-84% del peso seco del grano y el 86-89% en peso de almidón del endospermo. Está compuesto de paquetes de células alargadas con gránulos de almidón de 5-30 μ m empotradas en una unión continua de proteínas. El almidón del endospermo es de dos tipos, harinoso y córneo. Además, está formado por una capa celular llamada aleurona, lugar donde residen enzimas hidrolíticas. El endospermo harinoso rodea hendidura central y es ligeramente opaco., explicó que la opacidad del endospermo harinoso puede ser debido a la refracción de la luz de la minuciosa envoltura de aire alrededor de los gránulos de almidón, los cuales resultan del desgarre de la unión de la proteína durante el secado. La unión no alcanza a rodear los gránulos de almidón los cuales asumen una forma esférica Por otra parte, en el endospermo córneo, la unión de proteína es espesa y permanece intacta con el secado. Durante el secado, los gránulos de almidón son plásticos en el endospermo córneo y son comprimidos. Las células de almidón en la porción harinosa son típicamente grandes y tienen pared celular gruesa, comparándolas con la porción córnea. Los cuerpos proteicos en el endospermo córneo son más grandes y más numerosos que en el endospermo harinoso. Por otra parte, los gránulos de almidón son poligonales y se encuentran compactados en el endospermo córneo, pero estos son esféricos y tienen espacios entre ellos en el endospermo harinoso.

1.1.4.3 Germen.

El germen está compuesto por el embrión y el escutelo. El escutelo funciona como un órgano nutritivo del embrión, constituye del 10-12% del peso seco del grano.

El germen es el mejor depósito de lípidos, el cual contiene un 83% del total de

⁶ (Wolf, et al. 1952; citados por Watson y Ramstad. 1987).

lípidos del grano. El germen, es potencialmente metabolizado en el tejido activo, contiene 70% del azúcar del grano y el 26% de la proteína del mismo.

La proteína que contiene el germen del grano de maíz (gluteína y globulina) es de buena calidad y su contribución a la proteína del grano entero es en promedio de 15%

Cuadro 3. Composición promedio de las partes componentes del grano de maíz.

Partes componentes del grano	Composición del grano (%)					
	% en peso seco del grano entero	Almidón	Grasa	Proteína	Ceniza	Azúcar
Endospermo	82,9	87,6	0,8	8,0	0,3	0,6
Germen	11,1	8,3	33,2	18,4	10,5	10,8
Pericarpio	5,3	7,3	1,0	3,7	0,8	0,34
Tapa Superior	0,8	5,3	3,8	9,1	1,6	1,6
Grano Entero	100	73,4	4,4	9,1	1,4	1,9

Fuente: Earle et, al (1946); Citado por Watson y Ramstad (1987)

1.1.5 COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL GRANO DE MAÍZ.

Los principales componentes químicos del maíz son: almidones, proteínas y lípidos, además también contiene cantidades menores de fibra cruda, azúcares, minerales y otras sustancias orgánicas como vitaminas liposolubles.

“Como fuente proteica, el maíz aporta a la población de América Latina aproximadamente el 13% de proteína total ingerida, además es una de las principales fuentes de calorías”⁷

⁷ (Martínez, 1979; citado por Buendía, 1981).

Cuadro 4. Análisis proximal del grano de maíz

Característica	Rango	Promedio
Humedad (% en base húmeda)	7.0-23.0	16.0
Almidón (% en base seca)	61.0-71.0	71.7
Proteína (% en base seca)	6.0-12.0	9.5
Grasa (% en base seca)	3.5-5.7	4.3
Cenizas (% en base seca)	1.1-3.9	1.4
Pentosanas (como xilosa)(%)	5.8-6.6	6.2
Fibra (residuo en detergente neutro) (% en base seca)	8.3-11.9	9.5
Celulosa + lignina (residuo en Detergente ácido) (% en B.S.)	3.3-4.3	3.3
Azúcares totales (como sacarosa) (% en base)	1.0-3.0	2.6
Carotenoides totales (mg/Kg)	5.0-40.0	30.0

1.1.5.1 Almidones

El componente químico principal del grano de maíz es el almidón, (que es la forma en que los cereales almacenan energía en el grano) al que corresponde hasta el 72 o 73% del peso del grano. Otros hidratos de carbono son azúcares sencillos en forma de glucosa, sacarosa y fructosa, en cantidades que varían del 1 al 3% del grano. El almidón está formado por dos polímeros de glucosa: amilosa y amilopectina. La amilosa es una molécula esencialmente lineal de unidades de glucosa, que constituye hasta el 25-30% del almidón. El polímero amilopectina también consiste de unidades de glucosa, pero en forma ramificada y constituye hasta el 70-75% del almidón.

“Además de su valor nutritivo, el almidón es importante a causa de su efecto sobre las propiedades físicas de muchos de nuestros alimentos. Por ejemplo: la gelificación del pudín, el espesamiento de las salsas y el fraguado de algunos postres, está todo ello

fuertemente influenciado por las propiedades del almidón. El almidón también es un producto industrial importante, particularmente en la industria papelería”⁸.

1.1.5.2 Lípidos.

Con lo que respecta a lípidos, en el grano de maíz estos representan en el 5% del grano entero, del cual el 83% proviene del germen. Los lípidos del maíz se encuentran principalmente como triglicéridos de ácidos grasos y los principales son el ácido linoleico 50% y palmítico 12%. Los lípidos comprenden un grupo de sustancias, que en general son solubles en éter, cloroformo o algún otro disolvente para grasas. Las sustancias lipídicas mayores son: grasas, ceras, fosfátidos, cerebrósidos, esteroides, y carotenoides. Entre los ácidos grasos el mayor es el linoleico con 59%, oleico 27%, palmítico 12%, esteárico 2%, linolénico 0.8%, y araquidónico 0.2%

1.1.5.3 Proteínas

Las proteínas constituyen el siguiente componente químico del grano por orden de importancia. En las variedades comunes, el contenido de proteínas puede oscilar entre el 8 y el 11% del peso del grano y en su mayor parte se encuentran en el endospermo.

“El maíz contiene cuatro tipos de proteína que son clasificadas de acuerdo a su solubilidad, así se tiene que las albúminas son solubles en agua, globulinas en sales, prolaminas en etanol al 70 - 80% y glutelinas en hidróxido de sodio”⁹

Las proteínas que predominan en el maíz son las prolaminas y de éste grupo la zeína representa el 50% del total de proteínas, siguiéndole en importancia las globulinas.

⁸ http://www.bedri.es/Libreta_de_apuntes/M/MA/Maiz.htm

⁹ (Treviño, 1980; citado por Watson y Ramstad, 1987).

La calidad o valor biológico de las proteínas se determina por el contenido de aminoácidos. De los aminoácidos comúnmente constituyentes de la proteína natural comestible, 8 no se sintetizan en el cuerpo humano pero son esenciales para las funciones metabólicas normales en adultos. Los aminoácidos esenciales son: lisina, triptofano, fenilalanina, metionina, leucina, isoleucina, treonina y valina. El aminoácido más deficiente en todos los cereales es la lisina, y enseguida en el maíz es el triptófano. De igual forma, otros investigadores indican que en maíz común los principales aminoácidos esenciales deficientes incluyen la lisina, treonina y triptofano, considerándose a la lisina como menor. En sus investigaciones sobre maíz normal encontraron una proporción en contenido de lisina y triptofano de 1.81 Y 0.35%, respectivamente.

1.1.5.4 Vitaminas.

El maíz contiene dos vitaminas liposolubles, la vitamina A (β -caroteno) y la vitamina E; además, vitaminas hidrosolubles.

El contenido de β caroteno en el maíz es generalmente variable y es gradualmente destruido por oxidación, al igual que otros pigmentos carotenoides, durante prolongados tiempos de almacenamiento

1.1.6 DUREZA¹⁰

La dureza de los granos de maíz fue definida, como la fuerza necesaria para su rompimiento.

Los métodos para medir la dureza del maíz Incluyen compresión, rompimiento, perlado, resistencia a la molienda y energía, cribado después de molienda, tamaño de partícula después de la molienda del maíz, reflectancia de rayos infrarrojos (NIR) después de molienda, densidad, tiempo de molienda, y flotantes.

¹⁰ Bennet (1970)

La dureza se relaciona con densidad, peso hectolítrico, almacenamiento, ataque de insectos por almacenamiento, susceptibilidad al rompimiento a causa del secado, manipulación o procesamiento (características de molienda, potencia requerida, sacado y productos en molienda húmeda) producción de alimentos y clasificación.

Además se encontró que la dureza se encuentra relacionada con ciertas características estructurales. Así, demostró que los maíces duros tienen los gránulos de almidón más pequeños en una densa aparición de matriz proteica en comparación con los maíces suaves.

La dureza del maíz es una propiedad intrínseca importante del grano y que en la actualidad existe controversia acerca de cuál método es el más adecuado para evaluarla. Para ello se han realizado diversos trabajos con la finalidad de desarrollar algún método, que directa o indirectamente, permita evaluar de manera confiable, la dureza del grano de maíz; encontrándose que la determinación del índice de perlado es más complicado y demorado, por lo que es menos práctico para medir dureza que el índice de flotación. Aunque, cabe mencionar que de manera personal, el índice de perlado se lleva menor tiempo su determinación porque solo se pesa el grano y para el índice de flotación se tienen que estar contando los granos uno por uno.

La dureza del grano de maíz puede medirse por el porcentaje producido de hojuelas grandes de sémolas durante la molienda seca. Así se tiene que el grano de maíz duro produce más sémolas, lo cual es deseable en este proceso. La molienda húmeda, prefiere grano de maíz suave, el cual usualmente requiere menor maceración (remojo) y tiene una mayor separación almidón-proteína

Encontraron alta correlación entre las características físicas evaluadas con el contenido proteico. Maíces duros presentan mayores contenidos de proteína que los suaves. Mencionan que resultados de determinación de dureza en maíz son afectados por tamaño y forma del grano.

1.1.6.1 Porcentaje de humedad.

La alta humedad disminuye la densidad, incrementa NIR (reflectancia de rayos infrarrojos), e incrementa el tiempo de molienda. Los niveles de humedad tienen un gran efecto sobre el rompimiento del grano de maíz; ya que a mayor humedad, la susceptibilidad al rompimiento es menor.

1.2 REDUCCIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA¹¹

En muchas operaciones de la manufactura de los alimentos suele ser una necesidad frecuente, desmenuzar los sólidos mediante la aplicación de fuerzas mecánicas. Las razones para esta reducción de tamaño son diferentes:

- La reducción del tamaño puede facilitar la extracción de un constituyente deseado, contenido en una estructura compuesta, como sucede por ejemplo, en la obtención de harina a partir de granos de trigo o jarabe de la caña de azúcar.
- La reducción de un tamaño definido puede ser uno de los requerimientos específicos del producto, como sucede por ejemplo, en la manufactura de azúcar para helados, en la preparación de especias y en el refinado del chocolate.
- Una disminución del tamaño de la partícula de una masa dada del sólido producto conduce a un aumento en la superficie del sólido, aumento en superficie que sirve de ayuda en muchos procesos de velocidad.
- La mezcla íntima corrientemente es más fácil con las partículas de tamaño más pequeño, lo que constituye una consideración importante en la producción de formulaciones, sopas empaquetadas, mezclas dulces, etc.

¹¹ BRENNÄN;

1.2.1 NATURALEZA DE LAS FUERZAS UTILIZADAS EN LA REDUCCIÓN DE TAMAÑO.

Se pueden, en general, distinguir tres clases de fuerzas. En cualquier operación de trituración están, en general, presentes más de uno de tales tipos.

Los tipos de fuerzas que predominan en algunas de las trituradoras de uso frecuente en la industria de los alimentos se resumen a continuación.

Cuadro 5. Tipos de fuerzas de los Molinos

Fuerza	Principio	Aparato
Compresión	Frotamiento (piedra de molino)	Molino de Martillos
Impacto	Compresión (cascanueces)	Molino de discos
Cizalla	Impacto (martillo)	Rodillos trituradores

Las fuerzas de compresión se utilizan para la ruptura grosera de productos duros. Las fuerzas de impacto se pueden considerar como fuerzas para uso general, empleándoseles para la molienda fina, media y gruesa de una gran variedad de productos alimenticios. Las fuerzas de frotamiento o cizalla se utilizan extensamente en aparatos para la trituración de sustancias blandas no abrasivas en los tamaños más pequeños, por ejemplo, en la molienda fina.

1.2.2 CRITERIOS DE DESINTEGRACIÓN MECÁNICA¹²

La desintegración mecánica es un término genérico de reducción de tamaño; los molinos y los trituradores son tipos de equipos de desintegración. Un triturador o un molino ideal deberían

¹² **HOLMAN, J.** Transferencia de Calor. 8va ed. México. McGraw Hill

- 1.- Tener una gran capacidad
- 2.- Requerir poco consumo de energía por unidad de producto
- 3.- Formar un producto de un tamaño único o distribución de tamaños que se desee.

El método usual para estudiar el funcionamiento del equipo de proceso consiste en establecer una operación ideal como un estándar, y comparar las características de un equipo real con las de la unidad ideal, de modo que sea apreciable la diferencia entre ambas. Cuando se aplica este método al equipo de molienda y trituración, las diferencias entre la unidad ideal y la real son muy grandes, y a pesar de los amplios estudios realizados, no se han aclarado totalmente la diferencia. Por otra parte se han desarrollado útiles ecuaciones empíricas para predecir el funcionamiento del equipo a partir de la incompleta teoría disponible.

1.2.3 CARACTERÍSTICAS QUE REGULAN LA SELECCIÓN DE LOS APARATOS

El objetivo primordial de un proceso de reducción de tamaño económico es obtener la reducción de tamaño deseada al costo mínimo. Los costos de adquisición, operación y mantenimiento juegan todos un papel importante en la rentabilidad del proceso por lo que estos gastos, para las diferentes alternativas posibles, se deben considerar cuidadosamente antes de seleccionar cualquier sistema de trituración particular. Es imperativo considerar las diferentes máquinas posibles al diseñar las características del proceso de que se trate. En general, será necesario conocer las características de los productos de partida, aparatos posibles y productos finales.

1.2.3.1 DUREZA DE LOS ALIMENTOS.

Aunque corrientemente no sea una preocupación primaria en las operaciones de

manufacturas de los alimentos, conocer la fuerza de los productos iniciales puede ser importante para la selección de los aparatos de trituración. En general, los productos más duros son más difíciles de triturar. Se necesita más energía y los tiempos de residencia en la “zona de acción” han de ser mayores. Lo que puede requerir una producción más pequeña para un molino dado, o un molino de mayor capacidad para una operación particular. Como las sustancias duras son casi siempre abrasivas se puede producir un desgaste pronunciado de las superficies de trabajo. Tales superficies se deben fabricar con materiales de construcción, duros y resistentes al desgaste, como el acero al manganeso y además se deben poder reemplazar fácilmente. Para reducir el desgaste los molinos de reducción de tamaño de productos duros se mueven relativamente despacio, debiendo además ser de construcción robusta para soportar los esfuerzos mecánicos que se desarrollan. Esta es la razón por la que los gastos de mantenimiento de estas máquinas se ignoran a veces.

1.2.3.2 ESTRUCTURA MECÁNICA DE LOS PRODUCTOS DE PARTIDA.

Conocer la estructura mecánica de los productos de partida puede indicar la clase de fuerza que con más probabilidad efectuará la trituración. Si los productos son frágiles o poseen estructura cristalina, la fractura puede ocurrir a lo largo de los planos de unión, siendo las partículas mayores las que se romperán más fácilmente. En tales casos se utiliza la trituración con fuerzas de compresión.

Si hay pocos planos de unión y se han de crear nuevos puntos de partida de grietas es posible que sean mejores las fuerzas de impacto y cizalla. Muchos productos alimenticios tienen una estructura fibrosa, no pudiéndoseles desintegrar por fuerzas de compresión o impacto, por lo que es necesario desgarrarlas o cortarlas.

1.2.3.3 HUMEDAD

La presencia de agua puede facilitar o complicar el proceso de trituración. Para la mayoría de las sustancias un contenido en humedad mayor de 2% o 3% puede

producir el embotamiento del molino. La capacidad de producción y la eficiencia de la molienda pueden resultar afectadas. En presencia de humedad puede tener lugar también una aglomeración de los productos, que es indeseable si lo que se requiere es un producto alimenticio pulverulento fino que fluya libremente. La formación de polvo que tiene lugar en la molienda en seco de muchos sólidos puede ser también causa de dificultades.

- La inhalación prolongada de polvos, por otra parte inocuos, puede originar enfermedades respiratorias peligrosas y los operarios se han de proteger contra tal posibilidad.
- Muchos productos alimenticios sólidos, cuando finamente divididos son muy inflamables, no siendo desconocidas en la industria de los alimentos las explosiones de polvo.

La presencia de pequeñas cantidades de agua ha resultado útil en la supresión del polvo y, en aquellas aplicaciones en las que pueden aceptar el agua, es frecuente el uso de aspersores de agua para reducir la formación de polvo.

En ciertas aplicaciones se introducen en el sistema de molienda grandes cantidades de agua. El agua transporta las partículas sólidas por la zona de acción en forma de una papilla que fluye libremente.

1.2.3.4 SENSIBILIDAD A LA TEMPERATURA DE LAS MATERIAS DE PARTIDA

En la zona de acción de un molino hay fricción entre las partículas., estas pueden también resultar alongadas más allá de su límite elástico sin que tenga lugar la fractura, y al dejar de actuar el esfuerzo aplicado se desprende en forma de calor la energía de deformación absorbida. El calor proveniente de estas dos fuentes puede conducir a una elevación considerable de la temperatura de los productos procesados y, además, producir la degradación de los mismos. Puede por ello, ser

necesario tener medios de refrigeración –camisas, serpentines, etc. – alrededor de la zona de acción si se están manipulando sustancia sensibles al calor.

1.3 APARATOS DE REDUCCIÓN DE TAMAÑO

Se dispone de aparatos de tipos y tamaños diferentes para la trituración de los productos alimenticios.

Los tipos más grandes de trituradoras groseras, tales como las trituradoras de mandíbulas y las trituradoras giratorias no se utilizan normalmente en la industria de los alimentos.

Se discuten a continuación los tipos de máquinas utilizadas corrientemente.

1.3.1 TRITURADORAS DE RODILLOS

En esta máquina dos o más rodillos pesados de acero giran uno hacia otro. Las partículas de la carga son atrapadas y arrastradas entre los rodillo, sufriendo una fuerza de compresión que las tritura. En algunos aparatos los rodillos giran a diferente velocidad, dando lugar también a fuerzas de cizalla.

La producción de estas unidades está regida por la longitud y diámetro de los rodillos y por la velocidad de rotación. Con los diámetros mayores se utilizan corrientemente velocidades de 20 – 300 r.p.m. las relaciones de reducción de tamaño son pequeñas, en general, inferiores a 5.

El diámetro de los rodillos, su velocidad diferencial y el espacio entre ellos se puede variar para adaptarlos al tamaño de la materia de partida y la velocidad de producción deseada. Aunque se dispone de un resorte de compresión para exceso de carga a fin de proteger la superficie de los rodillos, antes de la trituración se deben quitar los productos extraños duros.



Figura 1.3.1-1 Triturador de Rodillos

1.3.1.1 ÁNGULO DE SEPARACIÓN

Se denomina así al ángulo formado por las tangentes a las caras de los rodillos en el punto de contacto entre la partícula y los rodillos y es de importancia para la especificación del tamaño del par de rodillos de trituración necesarios para un trabajo determinado.

Si A es el ángulo de separación.

D_t el diámetro medio de las partículas añadidas

D_f el diámetro medio de las partículas finales

D_r el diámetro de los rodillos

Se puede demostrar que

$$\cos \frac{A}{2} = \frac{D_r + D_f}{D_r + D_t}$$

y en el caso límite en que las partículas sean atraídas por fricción hacia los rodillos:

$$\operatorname{Tg} \frac{A}{2} = \mu$$

Siendo μ el coeficiente de fricción entre la partícula y los rodillos.

1.3.1.2 CAPACIDAD DE TRITURACIÓN DE LOS RODILLOS

Se conoce por capacidad teórica de estas unidades, al volumen de la corriente continua de producto descargada por los rodillos.

En una máquina con rodillos de D_r metros de diámetro, longitud de la cara de 1 metros, separación de D_f metros y velocidad de los rodillos de N r.p.m., la capacidad volumétrica (Q) viene dada por

$$Q = 60\pi N D_r \cdot D_f \cdot \text{lm}^3/\text{h}$$

Los rodillos de trituración se utilizan para trituración intermedia y encuentra amplia utilización en la molienda de granos. En otros casos la superficie de los rodillos puede ser estriada para facilitar la fricción y la separación. Las trituradoras de rodillos sencillas que comprimen la carga entre el rodillo y un plato estacionario se utilizan para la trituración de productos más frágiles.¹³

1.3.1.3 LONGITUD DE CONTACTO

Hay que considerar la superficie de contacto porque en esta área se ejercerán las fuerzas de compresión y corte y se obtiene de la siguiente ecuación:

$$l = \frac{D_r * A}{4}$$

De donde:

l = longitud de arco de contacto entre el chocolate y los rodillos

D_r = diámetro de rodillo

A = ángulo de contacto en radianes

¹³ Apuntes de diseño mecánico ESPOCH Ing. Mec. Rodrigo Velásquez

1.3.2 MOLINO DE MARTILLOS¹⁴

Este tipo de molino de impacto o percusión es corriente en la industria de los alimentos.

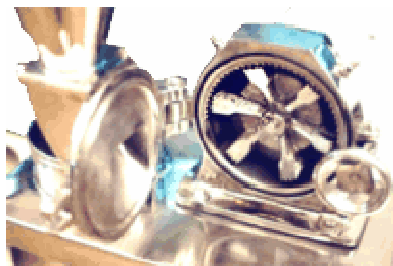


Figura 1.3.2-1 Molino de martillos

Un eje rotatorio de gran velocidad lleva un collar con varios martillos en su periferia. Al girar el eje las cabezas de los martillos se mueven siguiendo una trayectoria circular dentro de un armadura, que contiene un plato de ruptura endurecido, de casi las mismas dimensiones que la trayectoria de los martillos. Los productos de partida pasan a la zona de acción, donde los martillos los empujan contra el plato de ruptura. La reducción de tamaño producida principalmente por fuerzas de impacto, aunque si las condiciones de alimentación son obturantes las fuerzas frotamiento pueden también tomar parte en la reducción de tamaño. Con frecuencia se sustituyen los martillos por cortadoras o por barras como en los molinos de barras.

Los molinos de martillos se pueden considerar como molinos para uso general, ya que son capaces de triturar sólidos cristalinos duros, productos fibrosos, sustancia vegetales, productos pegajosos, etc. Se le utiliza extensamente en la industria de los alimentos para moler pimienta y especias, leche seca, azúcares, etc.

¹⁴ **Perry, R. GREEN, D.** Manual del Ingeniería Química. Tomo VI. 6ta ed. Madrid-España. McGraw Hill. 2001.

1.3.3 MOLINO DE DISCO DE FROTAMIENTO

Los molinos que utilizan las fuerzas de frotamiento o cizalla para reducir el tamaño juegan un papel primordial en la molienda fina. Como la mayoría de la molienda que se lleva a cabo en la industria de los alimentos es para producir partículas de tamaño muy pequeño, esta clase de molinos se encuentran una amplia aplicación.



Figura 1.3.3-1. Molino de Disco de Frotamientos

CAPÍTULO II

PARTE EXPERIMENTAL

2.1. SIMULADOR DEL PROCESO

La simulación de molienda se hizo en el molino Kitchen Aid, modelo K5SSWH. Motor de uso rudo de 250 Watts a 120 Volts con protector térmico con diez velocidades de molienda. Color blanco. Medidas: 0.22 x 0.36 x 0.35 mts. En el laboratorio de cocina de la Escuela de Gastronomía de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Se realizó la parte experimental en el cual se trituro cuatro cargas a diferentes tiempos y revoluciones para observar cuales son las condiciones de proceso optimas para el diseño de nuestro molino obteniendo los siguientes resultados

Para el ensayo utilizamos una balanza y una espátula para facilitar la práctica.

2.2. TOMA DE DATOS EXPERIMENTALES

2.2.1. MOLIENDA A 220 RPM

Tabla 2.2.1-1. Datos Experimentales a 220 rpm

	1 min.	2 min.	3 min.
CARGA (g)	Peso (g)	Peso (g)	Peso (g)
50	44,64	49,22	49,73
100	66,23	99,19	99,70
150	66,08	132,19	149,68
200	62,70	125,39	188,08

Tabla 2.2.1-2. Promedio de los Datos Experimentales a 220 rpm

CARGA (g)	Peso Medio (g)
50	47,86
100	88,37
150	115,98
200	125,39

2.2.2. MOLIENDA A 190 RPM

Tabla 2.2.2-1. Datos Experimentales a 190 rpm

CARGA (g)	1 min.	2 min.	3 min.
	Peso (g)	Peso (g)	Peso (g)
50	39,68	49,08	49,48
100	38,60	69,20	99,30
150	36,17	72,33	108,49
200	35,29	70,59	105,88

Tabla 2.2.2-2. Promedio de los Datos Experimentales a 190 rpm

CARGA (g)	Peso Medio (g)
50	46,08
100	69,03
150	72,33
200	70,59



Figura 2.2.2-1 Balanza



Figura 2.2.2-2 Molino Kitchen Aid

2.3. MATRIZ DE TOMA DE DECISIÓN.

Tabla 2.3-1. Matriz de Decisión

RPM	Peso Medio (g) 50 g	Peso Medio (g) 100 g	Peso Medio (g) 150 g	Peso Medio (g) 200 g
220	47,86	88,37	115,98	125,39
190	46,08	69,08	72,33	70,59

Después de realizar estos ensayos de molienda a diferentes revoluciones y con diferentes cargas se llegó a la conclusión que para la carga de nuestro molino (5 Kg/h), no es necesario diseñar el molino con altas revoluciones ya que con tales revoluciones se genera fricción en la molienda generando a su vez calor que altera la composición química de los granos como fue en el caso de la simulación realizada, recordemos que no hay que alterar la composición química de los granos ya que luego en los análisis bromatológicos los análisis no reportaran el valor real de su composición.

La condición ideal para el diseño del molino es impedir la fricción y el calentamiento de los granos evitando alteraciones, por eso lo recomendable es trabajar a bajas revoluciones, por lo tanto se estima que el molino trabaje aproximadamente a 25 rpm valor promedio bajo en relación a la potencia aplicada en la simulación.

CAPÍTULO III

CÁLCULOS Y

RESULTADOS

CAPITULO 3

3. DISEÑO.

3.1. TRITURADORA DE RODILLOS

El prototipo de máquina que se analiza está formado por tres rodillos moleteado de acero inoxidable que gira uno hacia otro, a diferente velocidad. La finalidad de este tipo de molino es solventar la materia prima para el análisis de las características del maíz en el ámbito del laboratorio de química, el proceso que realiza el molino para la molienda del maíz es atrapar y arrastrar las partículas entre los rodillos, sometiéndose a una fuerza de compresión que las tritura. En algunos molinos los rodillos giran a diferente velocidad, dando lugar también a fuerzas de cizallamiento en el diseño se consideró este principio para facilitar la trituration del maíz y obtener el tamaño de grano adecuado para el análisis de proteínas evitando así el exceso de fricción y por ende la degradación del producto.

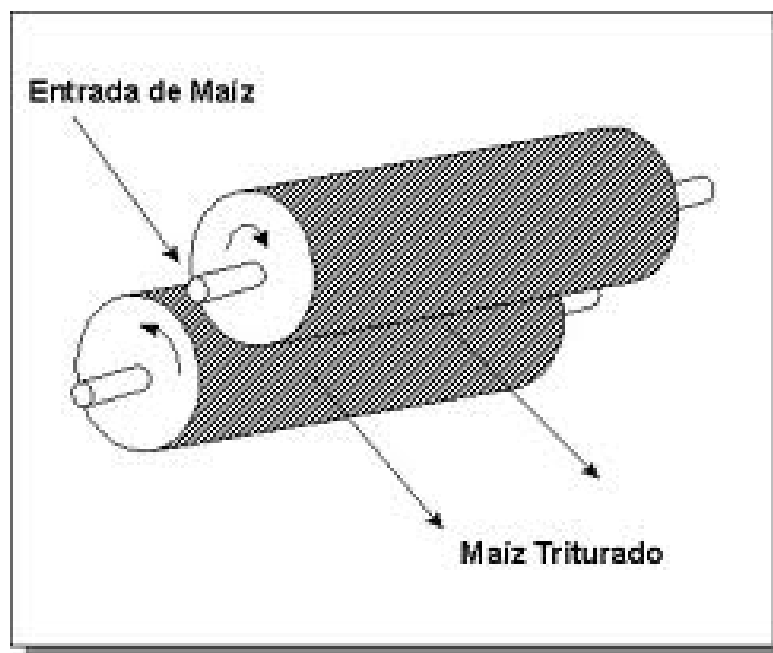


Figura 3.1-1 Rodillos Trituradores

3.2. DISEÑO DE LOS ELEMENTOS MECÁNICOS DE LA TRITURADORA.

Considerando que las partículas de maíz alimentadas tienen un diámetro medio aproximado de 10 mm y que se desea obtener un tamaño de partícula entre 1.5 a 1.7 mm, se ha establecido por medio del análisis de bibliografía específica al tema que se necesitan de dos reducciones de tamaño para lo cual se necesitan tres rodillos, cuya distribución será de forma triangular y con un mallado de moleta de sección $4\text{mm}^2, 2.25\text{mm}^2, 1\text{mm}^2$, para facilitar la circulación del grano de maíz entre los rodillos de compresión.

3.2.1 CARACTERISTICAS DEL PRODUCTO A TRITURAR¹⁵.

Para el diseño del molino se considera las condiciones más críticas del producto a triturar cuyos datos son:

Dureza a la ruptura del maíz de la clase morocho amarillo con 28 días de maduración.

$D = 5.15 \text{ Kg}$

Dimensiones promedio del grano de maíz 8 mm de alto, 6 mm de ancho, 3.5 mm de espesor.

En función de estos datos se establece el valor promedio de la resistencia a la compresión del maíz utilizando la siguiente ecuación:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (3.1)$$

Dónde:

σ , Esfuerzo de compresión (Kg/cm^2)

F, Fuerza a la compresión (Kgf)

A, Área ($4.8 \times 10^{-5} \text{m}^2$)

¹⁵http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_ci/Agronomia%20Tropical/at4156/Arti/cartaya_l.htm

Reemplazando los datos preestablecidos en la ecuación 3.1 se obtiene el esfuerzo que se necesita para triturar el maíz.

$$\sigma = 10.729 \text{ Kg/cm}^2$$

3.2.2. DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE FRICCIÓN¹⁶.

El coeficiente de rozamiento o coeficiente de fricción expresa la oposición al movimiento que ofrecen las superficies de dos cuerpos en contacto. Es un coeficiente adimensional, usualmente se representa con la letra griega μ (mu).

Cuando dos superficies son puestas en contacto, el movimiento de una respecto a la otra genera fuerzas tangenciales llamadas fuerzas de fricción, las cuales tienen sentido contrario a la fuerza aplicada.

La ecuación que se aplica para su determinación es:

$$\mu = \tan^{-1} \theta \quad (3.2)$$

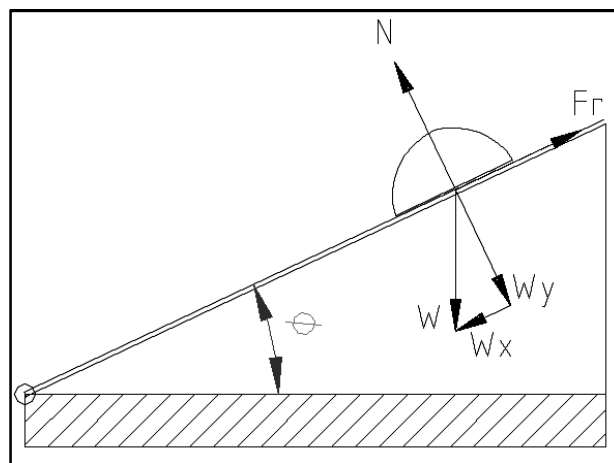


Figura 3.2.2-1 Determinación experimental del coeficiente de fricción.

¹⁶http://es.wikipedia.org/wiki/Coeficiente_de_rozamiento

De la teoría investigada se determina el coeficiente de fricción entre el acero inoxidable y el maíz morocho amarillo de forma experimental mediante el desplazamiento de este sobre una plancha de acero inoxidable AISI 308L con las siguientes dimensiones ancho 40 mm, longitud 480 mm en la tabla de resultados se aprecia los ensayos realizados.

TABLA 3.2.2-2. Determinación del coeficiente de fricción entre el maíz sobre el acero inoxidable

Nº	Cateto en X	Cateto en Y	Angulo Θ (\tan^{-1} x/y)	Coeficiente de fricción μ
1	438	190	23.45	0.4337
2	440	195	23.90	0.4431
3	435	192	23.81	0.4312
4	440	192	23.57	0.4362

De los valores experimentales se deduce el valor del coeficiente de fricción, en base a un promedio de los resultados obtenidos.

$$\mu = 0.4360$$

$$\text{El ángulo } \Theta = 23.57^\circ$$

3.2.3 DISEÑO DE RODILLOS.

3.2.3.1 NUMERO DE RODILLOS

El número de rodillos que se establece, en función de un criterio de diseño, y por recomendación de la bibliografía estudiada.

El número establecido en el diseño es tres rodillos ubicados uno con respecto a otro formando un triángulo equilátero lo que nos permite triturar el maíz de forma suave y progresiva, evitando la fricción excesiva y la requema del grano.

3.2.3.2. ANGULO DE SEPARACIÓN ENTRE LOS RODILLOS

Los rodillos deben tener un diámetro mínimo requerido para arrastrar y triturar las partículas de maíz, y un ángulo de separación entre rodillos, que se establece con la siguiente ecuación.

$$A = 2 * \tan^{-1} \mu \quad (3.3)$$

Donde:

A, es el ángulo de separación entre los rodillos.

μ , es el coeficiente de fricción entre materiales.

En el caso límite de que las partículas sean arrastradas por fricción, donde μ entre el acero y el maíz morocho amarillo es 0.4360, y reemplazando en la ecuación 3.3 se tiene que:

El ángulo de separación entre los rodillos es de:

$$A = 47.1529^\circ$$

3.2.3.3. DIAMETRO DE RODILLOS

Los rodillos son las herramientas de molienda en el molino de rodillos, debido al contacto directo con el material a ser triturado, las superficies de los rodillos pueden tener estrías, bordes rompedores o dientes.

Los trituradores de rodillos dentados son más versátiles. Trituran por picado (tracción) al actuar los dientes, por compresión en el momento de obligar a pasar a los trozos entre los rodillos, también por impacto y cizalladura.

Para calcular el diámetro mínimo requerido de los rodillos se aplica la siguiente ecuación:

$$Dr = \frac{D_t \cdot \cos\left(\frac{A}{2}\right) - D_f}{1 - \cos\left(\frac{A}{2}\right)} \quad (3.4)$$

Dónde:

A, es el ángulo de separación.

D_t, el diámetro medio de las partículas añadidas

D_f, el diámetro medio de las partículas finales

D_r, el diámetro de los rodillos

Calculando D_r en la ecuación 3.4 y utilizando un diámetro medio de las partículas finales de 1.7 mm el diámetro medio de las partículas añadidas entre 8 y 10 mm (D_t = 9 mm), reemplazando el valor del ángulo de separación (A = 47.15°) tenemos:

$$Dr = \frac{1.7 * \cos\left(\frac{47.15}{2}\right) - 9}{1 - \cos\left(\frac{47.15}{2}\right)}$$

$$Dr = 89.2 \text{ mm}$$

Se consideró para el diseño la medida de 90 mm como diámetro final de los rodillos por efecto constructivo.

3.2.3.4. LONGITUD DE CONTACTO

Para establecer la longitud de contacto entre los rodillos y el maíz se utiliza la siguiente ecuación:

$$l = \frac{D_r * A}{4} \quad (3.5)$$

De donde:

l = longitud de arco de contacto entre el maíz y los rodillos

D_r = diámetro de rodillo

A = ángulo de contacto en radianes

El arco de contacto entre el maíz y los rodillos se obtiene al reemplazar los respectivos valores en la ecuación

$D_r = 90 \text{ mm}$

$A = 0.291$

De acuerdo a los datos se obtiene que la longitud de arco de contacto es 6.54 mm

3.2.3.5. LONGITUD DE LOS RODILLOS

La longitud necesaria de los rodillos para el molino se obtiene de la siguiente ecuación.

$$Q = 60\pi N D_r \cdot D_f \cdot l \text{ m}^3/\text{h} \quad (3.6)$$

Dónde:

Q, cantidad a triturar (m^3/h)

N, revoluciones por minuto del molino (rpm)

Df, el diámetro medio de las partículas finales(m)

Dr, el diámetro de los rodillos (m)

Para establecer la longitud mínima de los rodillos se necesita calcular el caudal másico¹⁷ requerido, basándose en la necesidad del laboratorio, se considera para el diseño la cantidad de 5 Kg por cada hora, como materia prima suficiente para el trabajo en el laboratorio, este caudal másico se establece de la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{m}{\rho} \quad (3.7)$$

Dónde:

Q, caudal másico ó cantidad a triturar (m^3/h)

ρ , densidad del maíz (720 Kg/ m^3)

Reemplazando los datos en la ecuación establecida se obtiene:

$$Q = 6.94 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{h}$$

De la misma manera calculamos el número de revoluciones que se necesita para triturar el caudal de maíz requerido considerando el arco de contacto entre los rodillos y el maíz, esto nos permite deducir la cantidad de granos que atravesarán en una revolución, considerando un estimado de granos que existen en 5 Kg de maíz, se establece el número de revoluciones requeridos para triturar la masa de maíz.

¹⁷ Apuntes de diseño mecánico ESPOCH Ing. Mec. Rodrigo Velásquez

El volumen del maíz morocho con el que se efectúa el diseño es de $4 \times 10^{-7} \text{ m}^3$, por lo tanto en 5 kilos de maíz existen aproximadamente 17361 granos, con este valor establecemos el tiempo mínimo por revolución, que según el cálculo es de 9.12 segundos, considerando este valor se calcula que en un minuto atraviesan 289.35 granos, por lo tanto son necesarias 7 revoluciones por cada minuto para triturar los 5 kilogramos de materia.

Despejando y reemplazando los siguientes datos en la ecuación 3.7 se obtiene la longitud mínima de los rodillos:

$$Q = 6.94 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{h}$$

$$D_r = 0.09 \text{ m}$$

$$D_f = 0.0017 \text{ mm}$$

$$N = 7 \text{ rpm}$$

$$l = ?$$

$$l = 34.37 \text{ mm}$$

Para facilitar la construcción y considerando los posibles errores durante el momento del maquinado, se establece una longitud de 50 mm como longitud de los rodillos.

3.2.3.6. CARGAS EN LOS RODILLOS

Las cargas que se producen en los rodillos dependen directamente de la resistencia a la ruptura y corte entre las partículas de maíz y la superficie de los mismos.

La acción que ejerce el maíz sobre los rodillos es directamente proporcional a su longitud, por tanto se tienen que calcular los esfuerzos unitarios de compresión y corte.

Esfuerzo de compresión unitario:

$$q_c = \sigma_t \cdot l \quad (3.8)$$

Dónde:

q_c , Carga unitaria (Kg/cm)

σ_t , Resistencia de ruptura (Kg/cm²)

l , Longitud del rodillo (cm)

$$Q_c = 53.645 \text{ Kg/cm}$$

Para establecer las cargas que influyen sobre los rodillos, es necesario seleccionar el material en el que se va a construir, si se lo va a fabricar de una o de varios elementos, calcular las reacciones en los apoyos, determinar los esfuerzos a los que se va someter el eje, establecer el coeficiente de seguridad de diseño, y los elementos que transmiten y transforman la potencia.

El prototipo de molino de laboratorio está diseñado para trabajar con alimentos por lo que es imperioso seleccionar un material apto para alimentos, el mismo que evite la contaminación del producto terminado, tomando en cuenta la bibliografía investigada, el material que se recomienda es un acero inoxidable apto para alimentos como el AISI 308L, ó AISI 316, revisando el mercado nacional para la adquisición de material, se encontró que existe AISI 308L solo en lámina (plancha), y AISI 316 en barra(eje).

3.2.3.6.1. CARACTERISTICAS DEL ACERO INOXIDABLE¹⁸.

En metalurgia, el **acero inoxidable** se define como una aleación de acero con un mínimo de 10% de cromo contenido en masa.

El acero inoxidable es un acero de elevada pureza y resistente a la corrosión, dado que el cromo, u otros metales que contiene, posee gran afinidad por el oxígeno y reacciona con él formando una capa pasivadora, evitando así la corrosión del hierro (los metales puramente inoxidables, que no reaccionan con oxígenos son oro y platino, y de menor pureza se

¹⁸http://es.wikipedia.org/wiki/Acero_inoxidable

llaman resistentes a la corrosión, como los que contienen fósforo). Sin embargo, esta capa puede ser afectada por algunos ácidos, dando lugar a que el hierro sea atacado y oxidado por mecanismos intergranulares o picaduras generalizadas. Algunos tipos de acero inoxidable contienen además otros elementos aleantes; los principales son el níquel y el molibdeno.

TABLA 3.2.3.6.1-1 Características químicas del acero inoxidable

Composición Química (%) de los Aceros Inoxidables Austeníticos y Aleaciones de Níquel												
GRADO	304	304L	316	316L	317	317L	321	400	825	625	C-276	DUPLEX 2205
Designación UNS	S30400	S30403	S31600	S31603	S31700	S31703	S32100	N04400	N08025	N06625	N10276	S31803
CARBONO (C) max.	0.08	0.035*	0.08	0.035*	0.08	0.035*	0.08	0.30	0.05	0.10	0.02	0.03
MANGANESO (Mn) max.	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	1.00	0.50	1.00	2.00
FÓSFORO (P) max.	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	----	----	0.015	0.04	0.03
AZUFRE (S) max.	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.024	0.03	0.015	0.03	0.02
SILICIO (Si) max.	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.50	0.50	0.50	0.08	1.00
CROMO (Cr) max.	18.0 a 20.0	18.0 a 20.0	16.0 a 18.0	16.0 a 18.0	18.0 a 20.0	18.0 a 20.0	17.0 a 20.0	----	19.5 a 23.5	20.0 a 23.0	14.5 a 16.5	21.0 a 23.0
NIQUEL (Ni)	8.0 a 11.0	8.0 a 13.0	10.0 a 14.0	10.0 a 15.0	11.0 a 14.0	11.0 a 15.0	9.0 a 13.0	63.0 a 70.0	38.0 a 46.0	Balance	Balance	4.5 a 6.5
MOLIBDENO (Mo)	----	----	2.0 a 3.0	2.0 a 3.0	3.0 a 4.0	3.0 a 4.0	----	----	2.5 a 3.5	8.0 a 10.0	15.0 a 17.0	2.5 a 3.5
OTROS ELEMENTOS	----	----	----	----	----	----	Ti = 5xC mín. y 0.70 max.	Cu=Bal. Fe = 2.50 max.	Fe=Bal. Cu = 1.5 a 3.0 Al = 0.2 max. Ti = 0.6 a 1.2	Fe = 5.0 max. Al = 0.40 max. Ti = 0.40 max. Cb+Ta = 3.15 a 4.15 Co = 1.0 max.	Co = 2.50 max. W = 3.00 a 4.50 Fe = 4.00 a 7.00 V = 0.35 max.	N = 0.08 a 0.20

La estructura mecánica del acero inoxidable, y las propiedades físicas, se pueden apreciar en los siguientes datos.

TABLA 3.2.3.6.1-2 Análisis químico según Norma Nacional NMX B-83 (% en peso):

	C máx.	Si máx.	Mn máx.	P máx.	S máx.	Cr	Ni	Mo
316	0.08	1.00	2.00	0.045	0.030	16.00-18.00	10.00-14.00	2.00-3.00
316L	0.03	1.00	2.00	0.045	0.030	16.00-18.00	10.00-14.00	2.00-3.00

Tipo:	Austenítico tipo 16-10 con molibdeno.
Formas y Acabados:	Barra redonda, cuadrada, solera y hexagonal; lámina y placa tubo y piezas forjadas.
Características:	Es un acero más resistente a la corrosión que otros aceros al cromo-níquel cuando se expone a muchos tipos de corroentes químicos y atmósferas marinas. Maquinabilidad: 45% del 1212; velocidad de 40-60 pies / min. Soldabilidad: Adecuado para todos los métodos; utilizar electrodos tipo 316.
Aplicaciones:	Se utiliza ampliamente en la fabricación de equipo para pulpa y papel, cambiadores de calor, equipos de desarrollo fotográfico y flechas para propelas entre otros.

TABLA 3.2.3.6.1-3 Tratamientos Térmicos recomendados (valores en °C):

FORJADO	RECOCIDO		DUREZA BRINELL BARRAS RECOCIDAS (1)	TEMPLE
	TEMPERATURA	MEDIO DE ENF.		
1150-1200 °C No forjar abajo de 900 °C enfriar rápidamente	1010-1120	enfriar rápidamente hasta temperatura ambiente	150	Endurecible solo por trabajo mecánico

TABLA 3.2.3.6.1-4 Propiedades mecánicas típicas según NMX B - 83, de barras en estado recocido:

	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN			LÍMITE DE FLUENCIA			ALARGAMIENTO EN 2" %	REDUCCIÓN DE ÁREA %	RELACIÓN DE MAQUINABILIDAD 1212 EF = 100%
	MPa	(kgf/mm2)	[Ksi]	MPa	(kgf/mm2)	[Ksi]			
316	510	(52)	[74]	206	(21)	[30]	40	50	45
316L	481	(49)	[70]	176	(18)	[26]			

3.2.3.7 DISEÑO GEOMÉTRICO DEL EJE.

Para facilitar el proceso constructivo se plantea la construcción del rodillo de compresión de una sola pieza tal como se puede apreciar en el boceto.

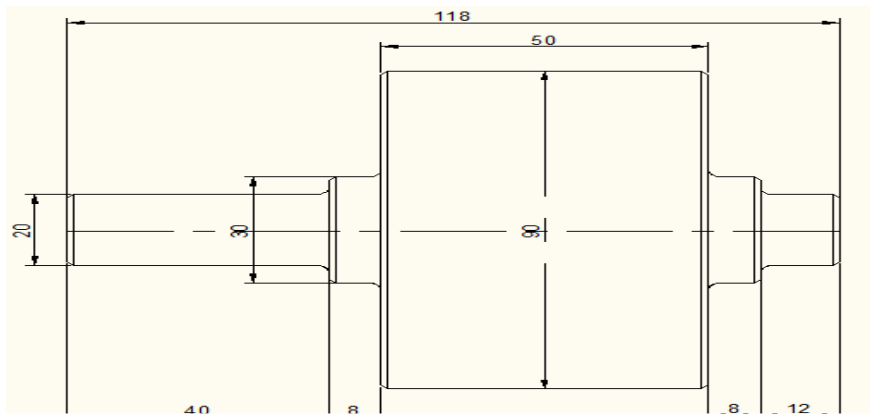


Figura 3.2.3.7-2 Boceto del eje

3.2.3.8. DISEÑO MECANICO DEL EJE.

Para determinar las reacciones y la potencia necesaria para la trituración del maíz, hay que considerar los esfuerzos a los que está sometido, y realizar los cálculos respectivos, para facilitar estos cálculos se empleara el software de diseño MDSolids 3.5.

Para emplear el programa hay que conocer todas las fuerzas que afectan directa o indirectamente al eje.

Una de estas fuerzas que se requiere conocer, es la que ejerce o transfiere el motor hacia los ejes del molino.

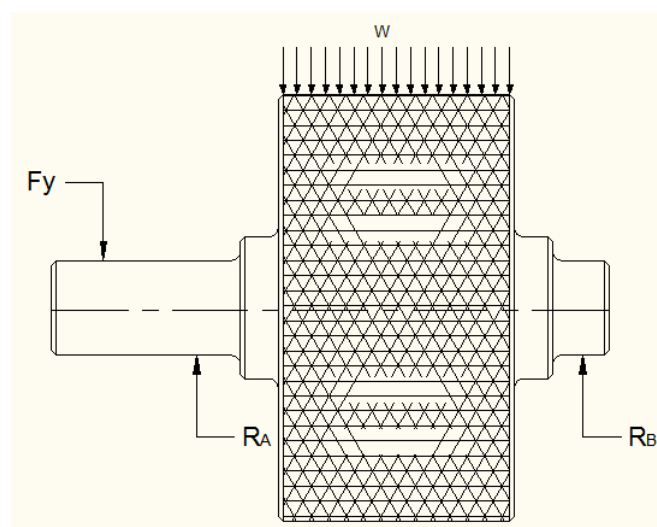


Figura 3.2.3.8-1 Diagrama de Esfuerzos sobre el eje motriz.

3.2.3.8.1 POTENCIA DE LOS RODILLOS DEBIDO A LA CARGA A TRITURAR.

3.2.3.8.1.1 MOMENTO DE INERCIA DE LA MASA TOTAL

Para calcular la potencia de los rodillos debido a la carga, es necesario conocer el torque que ejerce el maíz sobre los rodillos, y el primer paso es conocer el momento de inercia de la masa total, para lo cual se aplica la siguiente ecuación:

$$I_g = \frac{\pi * d^4 * \rho * l}{32} \quad (3.9)$$

Dónde:

I_g , Inercia de masa total (Kg m^2)

d , Diámetro del eje (m)

ρ , densidad del acero inoxidable (Kg/m^3)

l , Longitud del eje a calcular (m)

Reemplazando los datos respectivos en la ecuación 3.9 basándose en el análisis de inercia en el rodillo de compresión de la figura 3.3 se tiene los siguientes resultados.

Datos.

$I_g = ? (\text{Kg m}^2)$

$d = 0.09 \text{ m (rodillo)}, 0.02 \text{ m (espiga)}, 0.03 \text{ m (separadores)}$

$\rho = 8100 (\text{Kg/m}^3)$

$l = 0.05 \text{ m (rodillo)}, 0.052 \text{ m (espiga)}, 0.016 \text{ m (separadores)}$

$$I_g = \frac{\pi * 0.09^4 * 8100 * 0.05}{32}$$

$$I_g = 2.6 \times 10^{-3} \text{ Kg m}^2. \text{ (Rodillo de compresión)}$$

$$I_g = 6.61 \times 10^{-6} \text{ Kg m}^2. \text{ (Soporte de rodamientos y espiga de la polea)}$$

$$I_g = 1.03 \times 10^{-5} \text{ Kg m}^2. \text{ (Separadores)}$$

Para establecer el valor final de inercia del eje se efectúa la sumatoria de las inercias parciales dando como resultado:

$$I_{gt} = 2.625 \times 10^{-3} \text{ Kg m}^2.$$

Determinado el valor de la inercia en el rodillo, se calcula la potencia requerida para vencer esta inercia, para lo cual se aplica la siguiente ecuación:

$$P = T \times \omega \text{ (3.10)}$$

$$T = I_g * \alpha \quad (3.11)$$

Dónde:

P, potencia del rodillo (watts)

T, Torque en el rodillo (Nm)

ω , Velocidad angular del rodillo (rad/s)

I_g , Inercia en el rodillo debido a la carga (Kg m²)

α , aceleración angular (rad/s²)

Datos.

Eje Conducido

$$I_{gt} = 2.625 \times 10^{-3} \text{ Kg m}^2.$$

$$N = 7 \text{ rpm}$$

$$\omega = 0.733 \text{ rad/s}$$

$$\alpha = 0.733 \text{ rad/s}^2$$

Eje Motriz

$$I_{gt} = 2.625 \times 10^{-3} \text{ Kg m}^2.$$

Para el eje motriz se ha considerado una relación de transmisión 1:3, por consideración de diseño a ruptura y cizallamiento, y por lo explicado en acápites anteriores por lo tanto

$$N = 21 \text{ rpm}$$

$$\omega = 2.198 \text{ rad/s}$$

$$\alpha = 2.198 \text{ rad/s}^2$$

Reemplazando los datos en las ecuaciones 3.10, y 3.11, se obtienen los resultados.

Eje Conducido

$$T = 1.92 \times 10^{-3} \text{ Nm}$$

$$P = 1.41 \times 10^{-3} \text{ watts}$$

Eje Motriz

$$T = 5.77 \times 10^{-3} \text{ Nm}$$

$$P = 1.263 \times 10^{-3} \text{ watts}$$

La potencia total requerida por los rodillos es equivalente a:

$$P_{ti} = 2P_{\text{eje conducido}} + P_{\text{eje motriz}} \quad (3.12)$$

$$P_{ti} = 1.55 \times 10^{-2} \text{ watts}$$

3.2.3.8.1.2 POTENCIA REQUERIDA PARA TRITURAR EL MAÍZ.

Para calcular la potencia requerida para la trituración se aplica la ecuación 3.10, considerando para ello el cálculo del torque necesario para vencer el esfuerzo de compresión del maíz.

El torque requerido se calcula aplicando la siguiente ecuación:

$$T = \mu * q_c * l * r \quad (3.13)$$

Dónde:

T, torque (Nm)

μ , Coeficiente de rozamiento (adimensional)

q_c , Carga unitaria (kg/cm)

l , Longitud de contacto entre el maíz y el rodillo (m)

r , Radio del rodillo de compresión (m)

Reemplazando los valores ya calculados en la ecuación 3.13, se obtiene que el torque requerido es igual a:

$$T = 51.62 \text{ Nm}$$

Por lo tanto la potencia de trituración es:

$$P_{tr} = 113.46 \text{ watts}$$

3.2.3.8.1.3 CALCULO DE LA POTENCIA Y SELECCIÓN DEL MOTOR PARA TRITURAR EL MAÍZ.

La potencia total requerida es equivalente a la sumatoria de las potencias que intervienen en el sistema.

$$P_r = P_{tr} + P_{ti} \quad (3.14)$$

$$P_r = 113.46 + 1.55 \times 10^{-2}$$

$$P_r = 113.46 \text{ watts, ó } 0.152 \text{ Hp}$$

Acorde con la realidad del proyecto, este va a ser utilizado en el laboratorio para realizar ensayos de fibras y proteínas, el laboratorio dispone de energía eléctrica de tensión 110 V, por lo cual se ha seleccionado un motor de 500 watts de potencia, y un sistema de reducción de velocidad de corona y sin fin con una relación de 46 : 1

3.2.3.9. CALCULO DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN.

3.2.3.9.1 RUEDAS DENTADAS

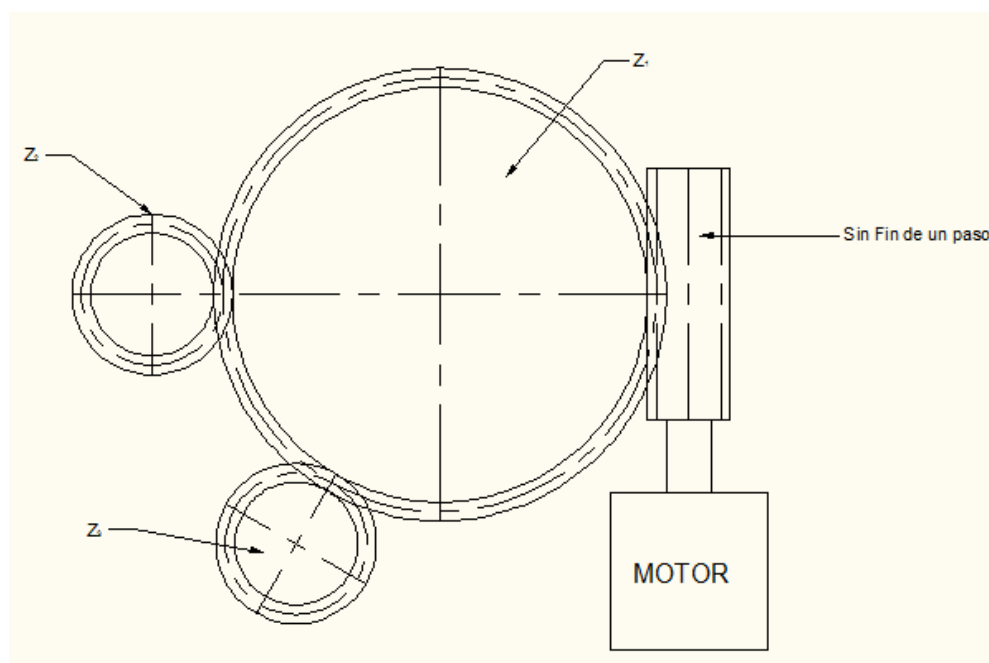


Figura 3.2.3.9.1-1 .Diagrama del sistema de transmisión de potencia

La distancia entre centros es 91.7 mm por diseño, y considerando el diámetro de los rodillos y la separación del mallado de trituración cuyo diámetro final de partícula es de 1.7 mm, este valor se puede calcular empleando la siguiente ecuación:

$$L_r = \theta_r + \theta_f \quad (3.15)$$

Dónde:

L_r , Distancia entre centros (m)

θ_r , Diámetro del rodillo (m)

θ_f , Diámetro final de la partícula (m)

Asumiendo un número determinado de dientes para la rueda conducida de 15 dientes, y con un módulo de elaboración de entalles de 3 mm, y aplicando las siguientes ecuaciones se

puede obtener los valores correspondientes al diámetro exterior, diámetro primitivo, longitud entre centros de las otras ruedas dentadas, así como el torque y la fuerza que son necesarias para el diseño del eje motriz.

$$De = m(Z + 2) \quad (3.16)$$

$$Dp = m * Z \quad (3.17)$$

$$L_r = \frac{1}{2}(Dp_M + Dp_C) \quad (3.18)$$

$$i = \frac{N_2}{N_1} = \frac{D_1}{D_2} = \frac{Z_2}{Z_1} \quad (3.19)$$

Reemplazando los datos expuestos en las ecuaciones 3.16, 3.17, y con la relación de transmisión de 1: 3 se tienen los siguientes valores:

Rueda conducida.

$$Z_2 = 15 \text{ dientes}$$

$$m = 3$$

$$De = 51 \text{ mm}$$

$$Dp = 45 \text{ mm}$$

Rueda Motriz

$$\frac{1}{3} = \frac{15}{Z_1}$$

$$Z_1 = 45 \text{ dientes}$$

$$m = 3$$

$$De = 141 \text{ mm}$$

$$Dp = 135 \text{ mm}$$

Longitud entre centros de las ruedas dentadas

$$L_r = \frac{1}{2} (135 + 45)$$

$$L_r = 90 \text{ mm}$$

Como la separación requerida para obtener un diámetro final de partícula es de 91.7 mm y la obtenida es de 90 mm se considera en aumentar un diente a la rueda motriz, y garantizar el diámetro de partícula requerido.

Rediseño

$$Z_1 = 46 \text{ dientes}$$

$$m = 3$$

$$D_e = 144 \text{ mm}$$

$$D_p = 138 \text{ mm}$$

Entonces

$$L_r = 91.5 \text{ mm (dentro del rango establecido).}$$

Como se necesita de un tren de engranajes para la transmisión de la potencia las ruedas que se requieren son:

$$Z_1 = 46 \text{ Dientes}$$

$$Z_2 = 15 \text{ Dientes}$$

$$Z_3 = 15 \text{ Dientes}$$

3.2.3.9.2 MOTO-REDUCTOR DE CORONA Y SIN FIN.

La potencia del sistema se genera en un motor eléctrico monofásico, cuyas revoluciones de trabajo son equivalentes a 1750 rpm, lo que nos induce a utilizar un reductor de velocidad, que nos permita trabajar adecuadamente, con nuestro molino, considerando el espacio, y la potencia requerida, se ha seleccionado la transmisión de corona y sin fin cuya relación se detalla a continuación.

Relación de transmisión, $i = 46 : 1$, necesitamos 21 rpm en la rueda motriz, para calcular el valor de las revoluciones del tornillo se aplica la ecuación 3.19, en donde se obtuvo que:

El número de revoluciones del tornillo son 966 rpm. Cuando la rueda motriz gira a 21 rpm. Aplicando la ecuación correspondiente.

$$D_e = 2m(k + 1) \quad (3.20)$$

Dónde:

D_e , diámetro exterior del tornillo (m)

m , módulo de generación del diente (mm)

k , factor de velocidad según el número de hilos (3.4 para un filete)¹⁹

Remplazando los datos se obtiene que el diámetro del tornillo es:

$$D_e = 26.4 \text{ mm}$$

Como el eje motriz esta solidario con la rueda dentada el torque que se genera en esta se transfiere directamente al tornillo, la fuerza tangencial que permite generar este torque en la rueda está en función de la siguiente ecuación.

$$F_y = \frac{2T}{D_e} \quad (3.21)$$

¹⁹ Manual de fórmulas técnicas de Mc Graw Hill, sección Q11

Reemplazando los datos en la ecuación 3.21 se obtiene que la fuerza tangencial equivale a:

$$F_y = 5060.78 \text{ N}$$

3.2.4 CALCULO DE ESFUERZOS SOBRE EL EJE MOTRIZ.

Observando la figura 3.4, y establecidos los valores correspondientes procedemos al cálculo de las reacciones sobre el eje, aplicando para ello el programa de diseño MDSolids 3.5 del cual se obtienen los siguientes resultados.

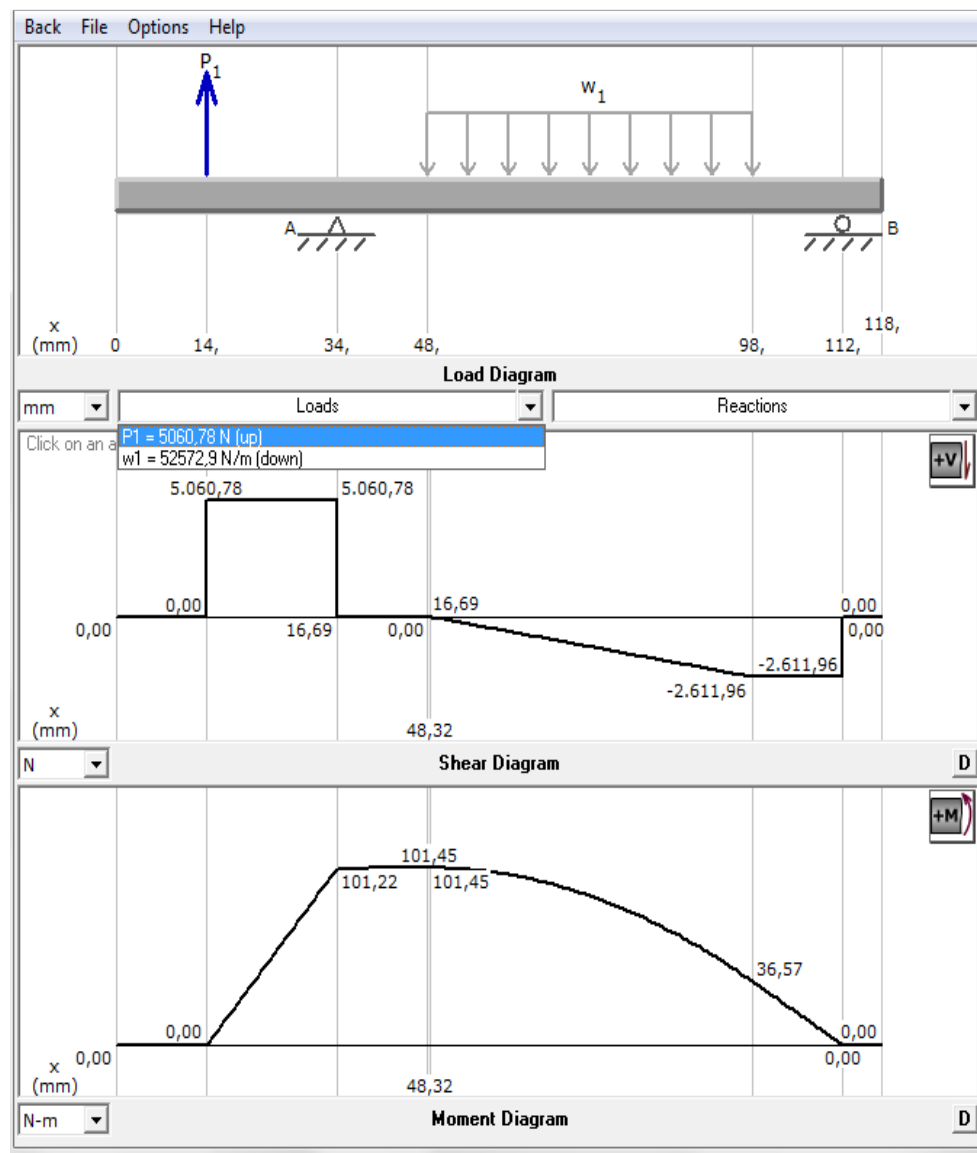


Figura 3.2.4-1 Diagrama del sistema de transmisión de potencia

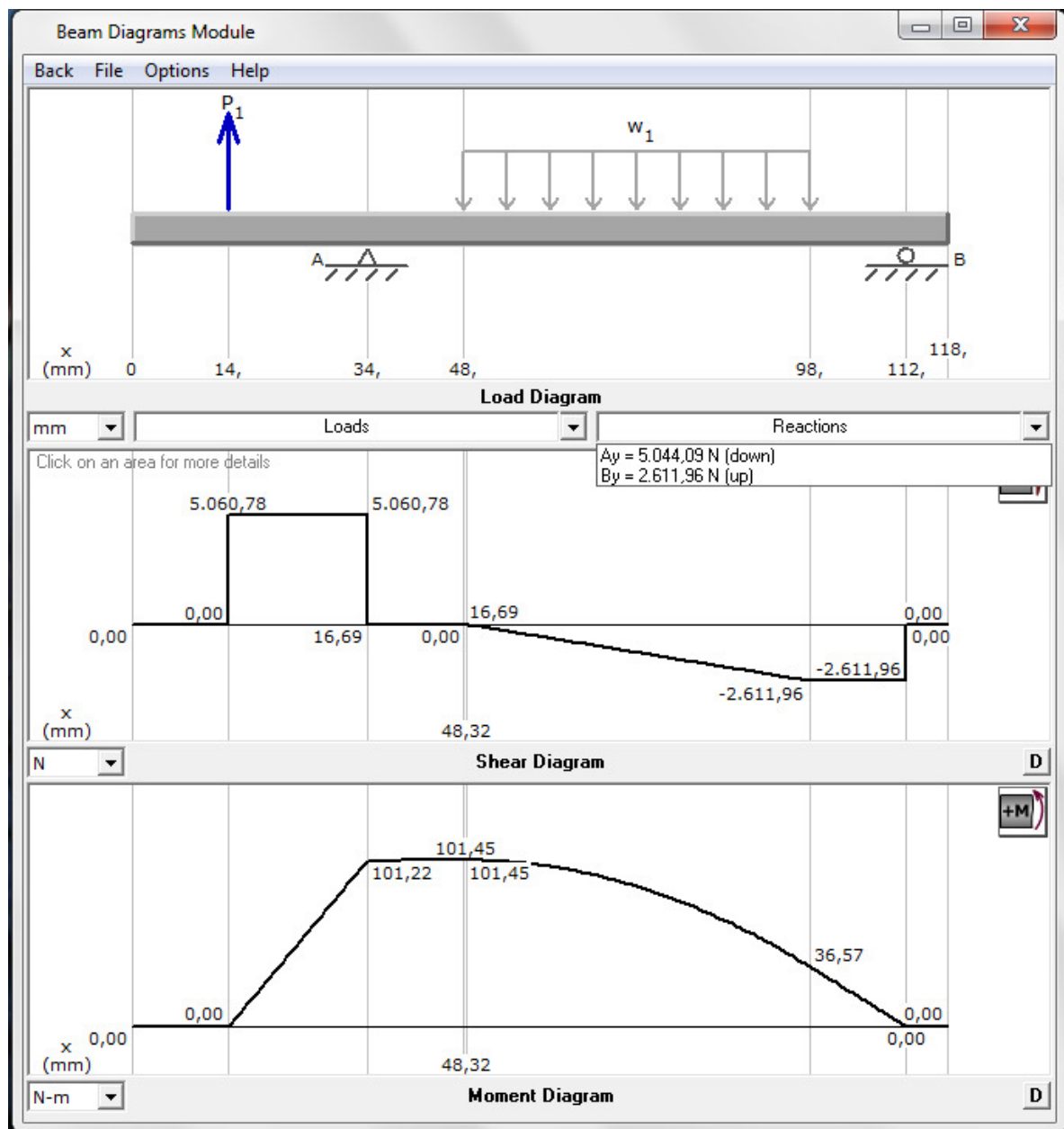


Figura 3.2.4-2 Gráfico de reacciones obtenidas en el programa MDSolids.

Resultado de las reacciones en los apoyos para rodamientos A y B.

$$R_A = 5044.09 \text{ N}$$

$$R_B = 2611.96 \text{ N}$$

$$M_{MAX} = 101.45 \text{ Nm (flexión)}$$

$$M_{Max} = 51.62 \text{ Nm (Torsión calculado)}$$

Aplicando el criterio del esfuerzo equivalente para torsión se puede llegar a verificar el factor de seguridad.

$$\sigma_{eq} = \frac{\sqrt{M_f^2 + M_t^2}}{\pi d^3} * 32 \quad (3.22)$$

Reemplazando los datos se obtiene:

$$\sigma_{eq} = 438.18 \text{ Kg/cm}^2$$

El esfuerzo de ruptura del acero inoxidable es equivalente a:

$$\sigma_{mat} = 5408.16 \text{ Kg/cm}^2$$

Calculando el factor de seguridad del eje mediante la siguiente ecuación se obtiene el valor de:

$$n_s = \frac{\sigma_{mat}}{\sigma_{eq}} \quad (3.23)$$

$$n_s = 12.34$$

No falla

3.2.5. SELECCIÓN DE LOS RODAMIENTOS.

Se realiza el análisis de esfuerzos en el rodamiento que soporta la mayor carga, que en este caso se encuentra en el punto A del eje motriz:

$$F_{Ax} = 5044.09 \text{ N}$$

$$F_{Ay} = 2611.96 \text{ N}$$

Entonces la fuerza radial aplicada sobre el rodamiento:

$$F_A = \sqrt{F_{Ax}^2 + F_{Ay}^2}$$
$$F_A = 5680.24 \text{ N}$$

3.2.5.1 CALCULO DE LAS CARGAS DINAMICAS

$$\frac{F_a}{F_r} \leq e ; \text{ Donde } F_a \text{ es cero, entonces; } X = 1 ; Y = 0$$

$$\text{Como } P = X F_r$$

$$P = 5680.24 \text{ N}$$

3.2.5.2 FORMULA DE LA DURACION

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P} \right)^p \times \frac{1000000}{60n}$$

Dónde:

$$c = 9360 \text{ N}$$

$$P = 5680.24 \text{ N}$$

$$p = 3 \text{ rodamiento de bolas}$$

$$n = 21 \text{ rpm}$$

Por lo tanto $L_{10} = 3551.05$ horas de servicio.

Basados en los cálculos seleccionamos del catálogo de rodamientos de la SKF²⁰ un rodamiento que cumpla con las características planteadas.

Rodamiento de una hilera de bolas **6004**

3.3 COSTOS.

3.3.1 ANALISIS DE COSTOS.

Para determinar el costo total de la inversión es necesario tener en cuenta:

Costos de materiales

Costos de maquinado

Costos de mano de obra

Costos de diseño

Imprevistos

3.3.2 COSTOS DE MATERIALES

La siguiente tabla presente los costos de los materiales cotizados en el mes de Enero del 2012.

²⁰ Catálogo de selección de rodamientos de la SKF pág, 118

Tabla 3.9.2-1 Costos de materiales

DESCRIPCIÓN	ESPECIFICACIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (USD)	SUB TOTAL (USD)
Plancha de acero inoxidable.	AISI 308 1200x2400x2	0.25	365.0	91.25
Eje de acero inoxidable	AISI 316L \varnothing 90 x 360	1	29.50	29.50
Rueda dentada 1	AISI 5115 \varnothing 145 x 15	1	35	35
Rueda dentada 2	AISI 5115 \varnothing 50 x 12	2	12	24
Rodamiento 6004	SKF \varnothing 42 x 20 x 12	2	2.5	5
Motor de 500 w	PHILLIPS 1750 rpm con variador de frecuencia	1	125.00	125.00
Prisioneros	M8 x 20 mm	6	0.2	1.2
Angulo Laminado	ASTM A36 25 x 25 x 2	0.5	13.64	6.82
TOTAL				317.77

Tabla 3.9.2-2 Costos de Maquinado y mano de obra.

MAQUINA	TIEMPO APROXIMADO (horas)	COSTO (hora)	SUBTOTAL
TORNO	2.25	6,00	13.5
TALADRO	0.4	4,00	1.6
MORTAJADORA	2	4,00	8.00
LIMADORA	2	5,00	10.00
DOBLADORA	1	2,00	2
CIZALLA	1	2,00	2
PLASMA	2	5,00	10.00
SOLDADORA	8	3,00	24.00
TOTAL			71.1

El costo del proyecto es de 388.87 dólares americanos.

El costo de diseño se estipula en el 40% del subtotal

Los imprevistos son equivalentes al 5% del total, estos se consideran por retrasos, incremento en el costo de material o de mano de obra.

El costo real del proyecto es equivalente a: 571.63 Dólares Americanos.

Tabla 3.9.2-3 Resumen del molino.

N°	DESIGNACIÓN	CANT	CARACTERÍSTICAS
1	Rodillo de trituración	3	Diámetro 90 mm, longitud 118 mm, de acero inoxidable AISI 316
2	Motor reductor Corona sin fin	1	Potencia de 500watts a 110V, 60Hz, y 1750 rpm (motor) reductor de 46 : 1
3	Capacidad de molienda	5 Kg/h	Relación variable, conforme a necesidad
4	Diámetro final del grano	1.5 mm	Regulación de grano con cambio de rodillo
5	Tipo de grano	10<g<6	El grano puede ser variable.

CAPÍTULO IV

DISCUSIÓN DE

RESULTADOS

4.1. DISCUSIÓN DE ALTERNATIVAS

Para solucionar el problema planteado, se basa en criterios y sugerencias difundidos por medio del Centro de Servicios Técnicos y Transferencia Tecnológica Ambiental, por medio bibliográfico o personal especializado en la práctica de molienda. Se tiene tres alternativas que son:

4.2.1. ALTERNATIVA 1: MOLINO DE RODILLOS

4.2.1.1. Ventajas:

- Pueden operar en serie y cada uno elaborar una molienda de grano más fino.
- No existe desgaste excesivo de los rodillos.
- El tamaño de las partículas del grano es homogéneo.
- El tiempo de vida útil es grande.

4.2.1.2. Desventajas:

- Operación del molino requiere de mayor capacitación ya que se trata de un molino cuyo sistema de trituración es totalmente interno.
- Requiere un moderado mantenimiento.
- Un poco lento en la trituración en comparación con los demás molinos.

4.2.2. ALTERNATIVA 2: MOLINO DE MARTILLOS

4.2.2.1. Ventajas:

- Las operaciones de mantenimiento son sencillas, por lo que no se requiere personal calificado.
- Son apropiados para la molienda de granos secos.

4.2.2.2. Desventajas:

- La calidad de la molienda no es buena si los granos presentan humedad.
- La molienda no es tan fina en comparación con los otros equipos.

- Debido a que los martillos giran a gran velocidad el molino está sujeto a vibraciones sino se balancean adecuadamente las cargas.
- Puede existir atascamiento entre la carcasa y los martillos si la separación entre los mismo no es la adecuada.

4.2.3. ALTERNATIVA 3: MOLINO DE DISCOS

4.2.3.1. Ventajas:

- Puede reducir fácilmente el tamaño de las partículas secas o húmedas.
- El sistema de alimentación no es complicado y se puede añadir agua para facilitar la molienda.
- Es de fácil manipulación y mantenimiento.

4.2.3.2. Desventajas:

- El tamaño de partículas no es homogéneo.
- Produce contaminación del producto final.
- Es difícil regular el tamaño de partícula de acuerdo a la alimentación y separación de los discos.
- Su costo es elevado por la complejidad en su construcción.

4.3. SELECCIÓN DE ALTERNATIVA.

Al realizar la selección de la alternativa adecuada, se ha tomado en cuenta las ventajas y desventajas de cada una de las opciones de solución planteadas anteriormente

4.3.1. PARÁMETROS CONSIDERADOS

4.3.1.1. Homogeneidad de la partícula.

Al terminar el proceso de molienda de los granos es conveniente que la mayoría de las partículas procesadas posean un tamaño de grano uniforme. Una mayor valoración

indica que el producto obtenido tiene un tamaño de grano homogéneo.

4.3.1.2. Grado de Contaminación

Se debe tomar en cuenta el grado de contaminación del producto final después del proceso de transformación, debido a que podría alterar las propiedades químicas de los granos. Una mayor valoración indica que el equipo produce menor grado de contaminación.

4.3.1.3. Costo.

Se debe realizar una evaluación del costo de los materiales, costo de los procesos de fabricación, costo del diseño, costo del número de elementos que conformarán el molino ha ser diseñado. Una mayor valoración indica que el equipo tiene menor costo en general.

4.3.1.4. Tamaño y Peso.

Relación de cantidad de masa, relacionada con la facilidad de montaje y el área de trabajo que ocupa. Una mayor valoración indica que el equipo tiene menor peso y tamaño.

4.3.1.5. Vida Útil.

Este parámetro depende del proceso mediante el cual realiza la operación de trituración. Una mayor valoración indica que el equipo posee una mayor vida útil.

4.3.1.6. Ruido

Este parámetro es relativamente importante en el diseño, ya que dependerá del sistema que utilice el equipo y del lugar donde vaya a funcionar, este último determinado básicamente por el Responsable Técnico del Área de Alimentos del CESTTA.

4.4. MEJOR ALTERNATIVA.

Una vez analizados los parámetros a ser considerados para elegir la mejor alternativa se ha tomado la decisión que el molino que satisface las necesidades de molienda del Área de Alimentos del CESTTA es el Molino de Rodillos, porque no existe fricción y por ende no hay calentamiento del material triturado que pueda alterar la composición química. Cuenta con tres rodillos ubicados en forma de un triángulo equilátero, se aplica el principio de cizallamiento el cual nos ayuda a empujar y triturar el grano obteniendo una molienda homogénea. Una mayor valoración indica que el molino de rodillos tiene menor costo en comparación de los otros.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y

RECOMENDACIONES

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Se diseñó el Molino de Rodillos para molienda de granos que contará con tres rodillos, una capacidad de molienda de 5kg/h, potencia de 500 Watts y el tipo de material para su construcción será de acero inoxidable. Características básicas en función a la necesidad presente del área de Alimentos de CESTTA-ESPOCH.
- Se realizó la simulación del proceso de molienda para granos en un molino Kitchen Aid en el laboratorio de cocina de la Escuela de Gastronomía, se hizo la simulación a diferentes revoluciones variando la carga y el tiempo de molienda obteniendo los datos experimentales.
- Se elaboró la matriz de decisión y al analizar los datos experimentales se llegó a la conclusión que para moler 5 Kg/h, es necesario diseñar un molino de bajas revoluciones para evitar la fricción en la molienda para que no exista calor que altere la composición química de los granos.
- Se determinó que el número establecido en el diseño es tres rodillos ubicados uno con respecto a otro formando un triángulo equilátero lo que nos permite triturar al grano de forma suave y progresiva, evitando la fricción excesiva y la requema del grano, el un rodillo trabajara a 21 rpm y en los dos rodillos restantes se aplicará la potencia de 7 rpm

5.2. RECOMENDACIONES

- Para realizar un diseño adecuado, se debe ejecutar una correcta investigación de campo y tomar en consideración cada parámetro y detalle que pueda afectar la construcción final del molino de rodillos, de esta forma las características del equipo diseñado se ajustarán a la realidad y necesidades del mercado.
- Si se decide aplicar el diseño, el proceso debe hacerse con estrictas condiciones de higiene y seguridad, el lugar donde se ubique el molino de rodillos debe ser un área amplia para el buen desenvolvimiento de la persona a cargo del proceso.
- Debido a que los objetivos de este trabajo son de aplicarlo a la necesidades del laboratorio CESTTA, hay que tener cuidado en el manejo del equipo, se recomienda utilizar la Guía de Prácticas, para prevenir algún tipo de daño en el equipo.
- Establecer un esquema de difusión para promocionar los avances tecnológicos y motivar la participación de los productores jóvenes, que son más dispuestos a los cambios y adopción de nuevas tecnologías.
- El Molino de Rodillos puede ser compatible con otros alimentos de similares características principalmente productos granulares tales como arveja, fréjol, etc.

BIBLIOGRAFÍA

1. **AVNER., S.,** Introducción a la Metalurgia Física., 2da ed., México DF-Mexico., McGraw Hill., 2000., Pp. 98-105
2. **CALLEJO., MJ.,** Industrias de cereales y derivados., 1era ed., Madrid-España., McGraw Hill., 1991., Pp. 75-108
3. **CENGEL., H.,** Termodinámica., 5ta ed., Mexico DF-Mexico., McGraw Hill., 2005., Pp. 123-132
4. **HOLMAN., J.,** Transferencia de Calor., 8va ed., México DF-Mexico., McGraw Hill., 2006., Pp. 87-94.
5. **MOTT., R.,** Resistencia de Materiales Aplicada., 3ra ed., México DF-Mexico., ISBN., 2005., Pp. 301-315.
6. **Perry., R., y GREEN., D.,** Manual del Ingeniería Química., 6ta ed., Madrid- España., McGraw Hill., 2001., Pp. 206-230.
7. **VIAN., A.,** Elementos de Ingeniería Química., 5ta ed., Madrid-España., McGraw Hill., 1972., Pp. 167-189.

BIBLIOGRAFÍA DE INTERNET

8. CEREALES.

<http://cerealesrincon delvago.html>

2011-11-10

9. CEREALES Y DERIVADOS.

<http://tema-Cereales-y-derivados- Estructura-de.htm>

2011-11-13

10. MOLIENDA DE MAIZ

<http://molienda-maiz monografias.htm>

2011-11-20

11. MOLINOS DE CILINDROS

<http://molinos-de-cilindros-para-laboratorio-15545-218416.html>

2012-12-05

12. OPERACIONES UNITARIAS

<http://www.fing.edu.uy/iiq/cursos/iaiq/materiales/OperacionesUnitarias.pf>

2012-01-12.

13. REDUCCION DE TAMAÑO.

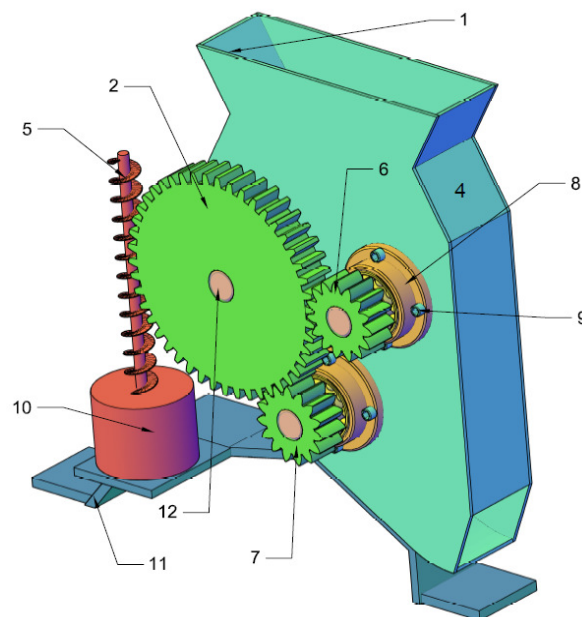
<http://descom.jmc.utfsm.cl/jcarmi/Reducciontamano.pdf>

2012-01-19

ANEXOS

ANEXO I

MOLINO DE RODILLOS



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA REALIZADO POR:	MOLINO DE RODILLOS		
	<div> <input type="checkbox"/> Por certificar <input type="checkbox"/> Por eliminar </div> <div> <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Para información </div> <div> <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por calificar </div>		Lámina 1-11	Escala	Fecha Marzo 2012

César Salas

ANEXO II

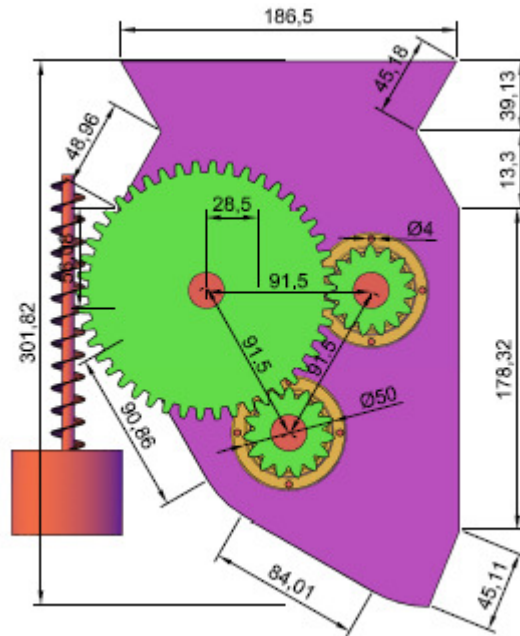
CARACTERISTICAS DEL MOLINO

Nº	DESIGNACIONES	MATERIAL	CANT.	OBSERVACIONES
1	Tapa Frontal	AISI INOX 308	2	Conformada a medidas de plano
2	Rueda Motriz	AISI 1045	1	z=46 m= 3 CEMENTADA
3	Rodamiento	SKF 709	6	SKF 6004
4	Tapa Lateral	AISI 308	2	Conformada Doblada
5	Tornillo sin fin	AISI 705	1	De un paso p=9,45 mm
6	Rueda Conducida	AISI 1045	1	Z=15, m=3, CEMENTADA
7	Rueda Conducida	AISI 1045	1	Z=15, m=3, CEMENTADA
8	Soporte de Rodamiento	AISI 1018	6	Ajuste H6j7
9	Perno de Sujeción	SAE GRADO 8 HG	24	M4 X 12
10	Motor	Fundición	1	500 Watts, 110 V, 1750
11	Base	AISI 308	1	Laminada
12	Rodillo	AISI INOX 316	3	Moletado Malla 1,5

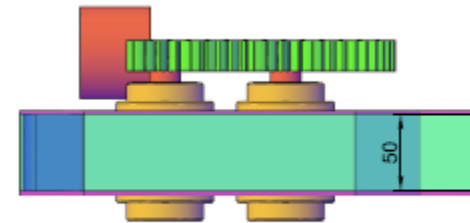
NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: left;"> <input type="checkbox"/> Por certificar <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Aprobado </div> <div style="text-align: left;"> <input type="checkbox"/> Por eliminar <input type="checkbox"/> Para información <input type="checkbox"/> Por calificar </div> </div>	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA REALIZADO POR: César Salas	CARACTERISTICAS DEL MOLINO <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="border: 1px solid black; width: 33%; text-align: center; padding: 5px;"> Lámina 2-11 </td> <td style="border: 1px solid black; width: 33%; text-align: center; padding: 5px;"> Escala </td> <td style="border: 1px solid black; width: 33%; text-align: center; padding: 5px;"> Fecha Marzo 2012 </td> </tr> </table>	Lámina 2-11	Escala	Fecha Marzo 2012
Lámina 2-11	Escala	Fecha Marzo 2012				

ANEXO III

DIMENSIONES DEL MOLINO DE RODILLOS



A)

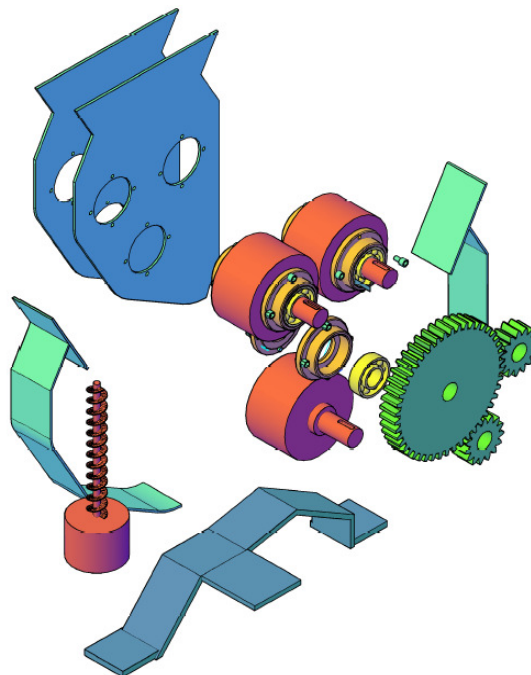


B)

NOTAS		CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA REALIZADO POR: César Salas	DIMENSIONES DEL MOLINO DE RODILLO		
A) DIMENSIONES LATERALES DEL MOLINO B) DIMENSIÓN DE LA TOLVA				<div><div><input type="checkbox"/> Por certificar</div><div><input type="checkbox"/> Por aprobar</div><div><input type="checkbox"/> Aprobado</div></div> <div><div><input type="checkbox"/> Por eliminar</div><div><input type="checkbox"/> Para información</div><div><input type="checkbox"/> Por calificar</div></div>	Lámina 3-11	Escala

ANEXO IV

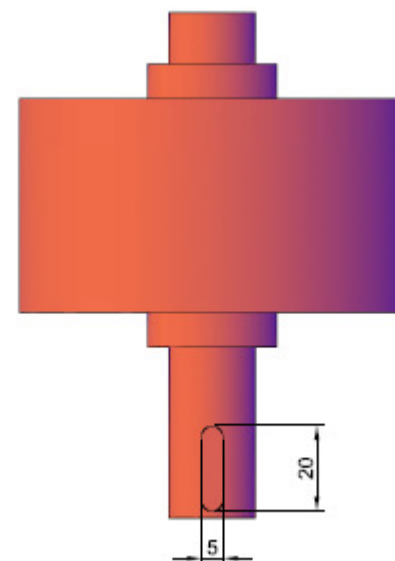
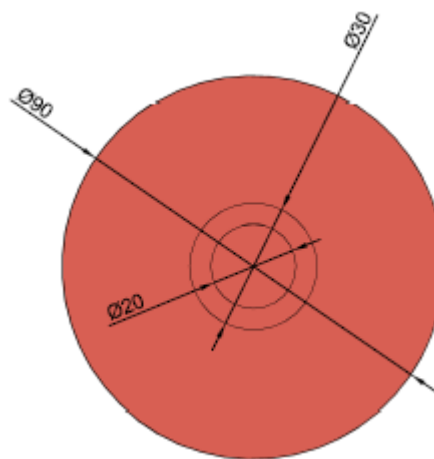
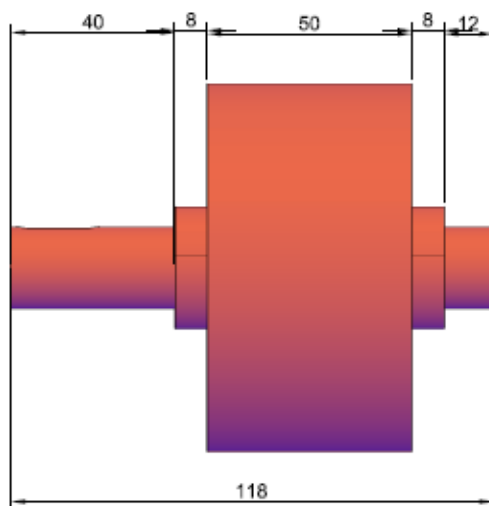
DESPIECE DEL MOLINO DE RODILLOS



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA <input type="checkbox"/> Por certificar <input type="checkbox"/> Por eliminar <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Para información <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por calificar	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA REALIZADO POR: César Salas	DESPIECE DEL MOLINO DE RODILLO		
			Lámina 4-11	Escala	Fecha Marzo 2012

ANEXO V

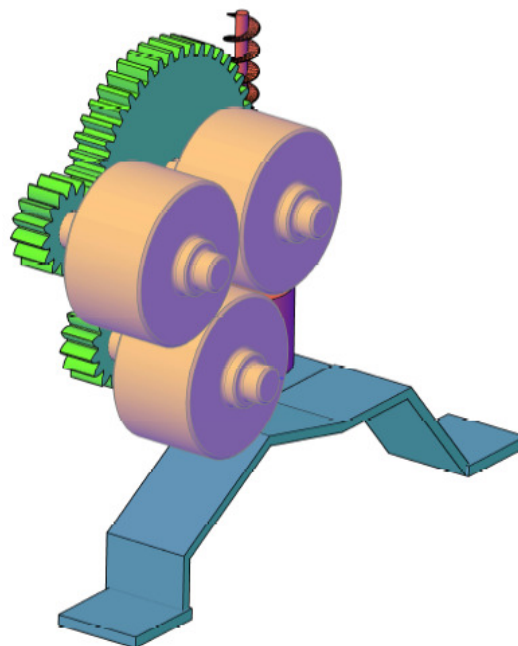
RODILLO



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA REALIZADO POR: César Salas	RODILLO			
			<div><div><input type="checkbox"/> Por certificar</div><div><input type="checkbox"/> Por aprobar</div><div><input type="checkbox"/> Aprobado</div></div> <div><div><input type="checkbox"/> Por eliminar</div><div><input type="checkbox"/> Para información</div><div><input type="checkbox"/> Por calificar</div></div>	Lámina 5-11	Escala	Fecha Marzo 2012

ANEXO VI

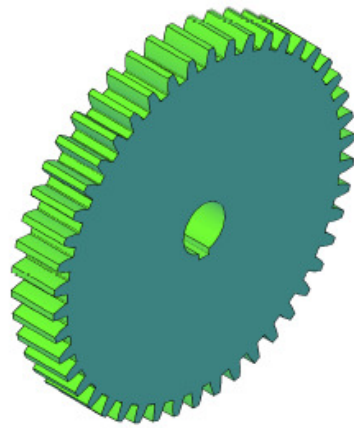
RODILLOS



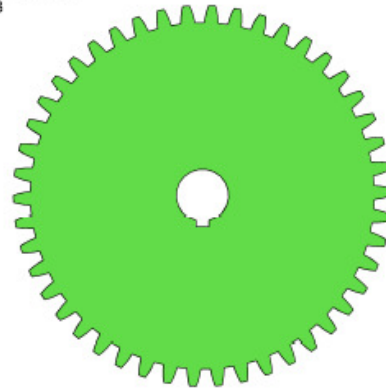
NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA <input type="checkbox"/> Por certificar <input type="checkbox"/> Por eliminar <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Para información <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por calificar	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA REALIZADO POR: César Salas	RODILLOS		
			Lámina 6-11	Escala	Fecha Marzo 2012

ANEXO VII

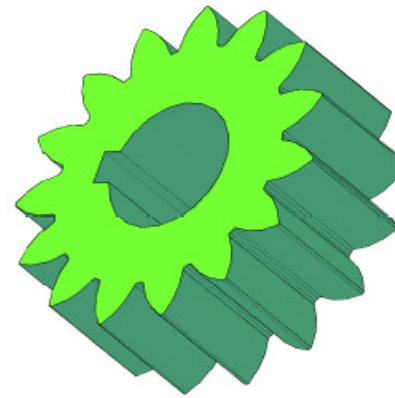
RUEDAS DENTADAS



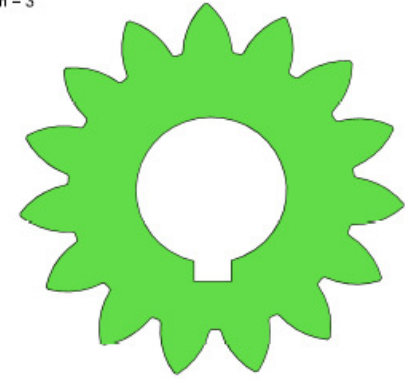
RUEDA MOTRIZ
Z= 46 DIENTES
m = 3



A)



RUEDA CONDUCTIDA
Z= 15 DIENTES
m = 3



B)

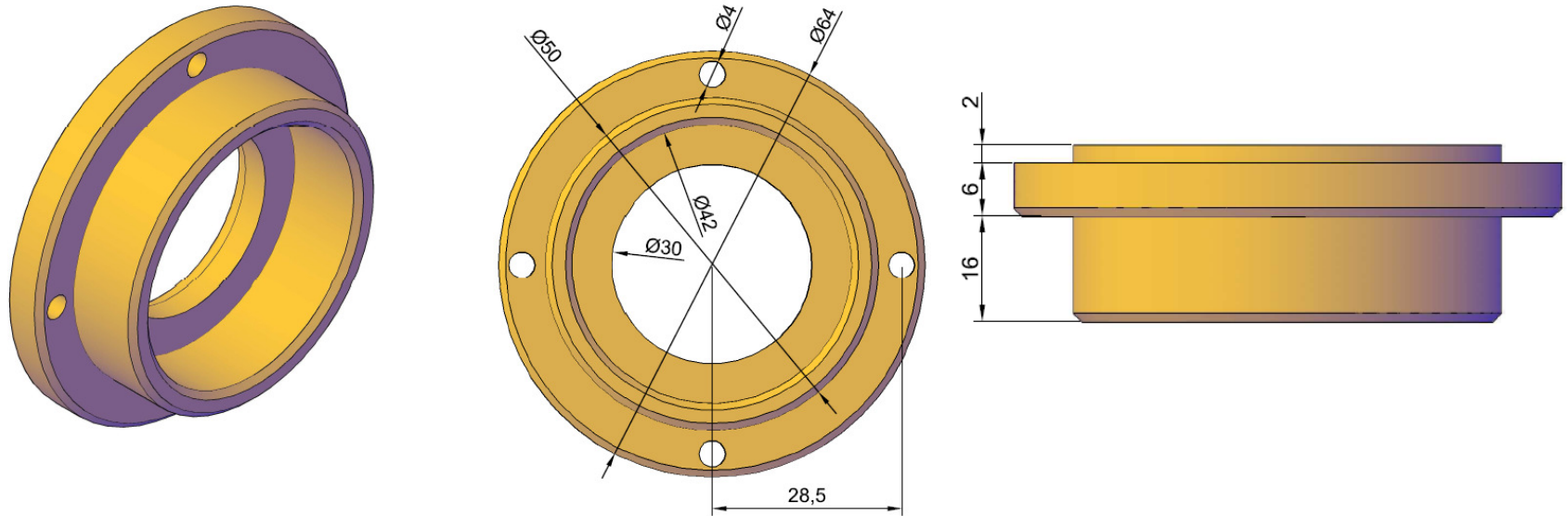
NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA REALIZADO POR:	RUEDAS DENTADAS		
A) RUEDA MATRIZ B) RUEDA CONDUCTIDA			Lámina 7-10	Escala	Fecha Marzo 2012

<input type="checkbox"/> Por certificar	<input type="checkbox"/> Por eliminar
<input type="checkbox"/> Por aprobar	<input type="checkbox"/> Para información
<input type="checkbox"/> Aprobado	<input type="checkbox"/> Por calificar

César Salas

ANEXO VIII

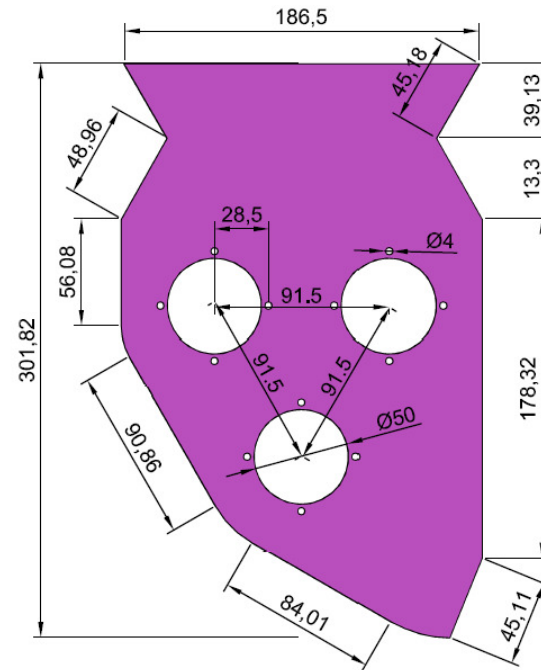
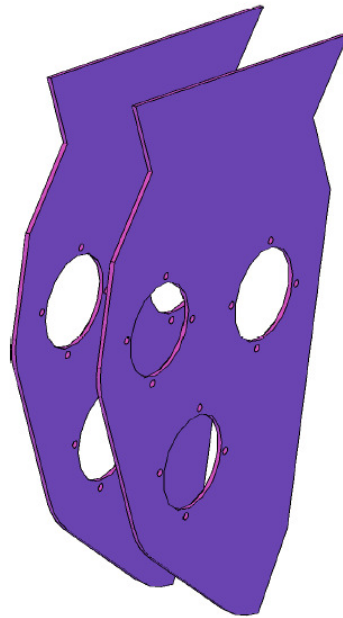
SOPORTE DE RODAMIENTO



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA REALIZADO POR:	SOPORTE DE RODAMIENTO		
	<input type="checkbox"/> Por certificar <input type="checkbox"/> Por eliminar <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Para información <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por calificar		Lámina 8-11	Escala	Fecha Marzo 2012

César Salas

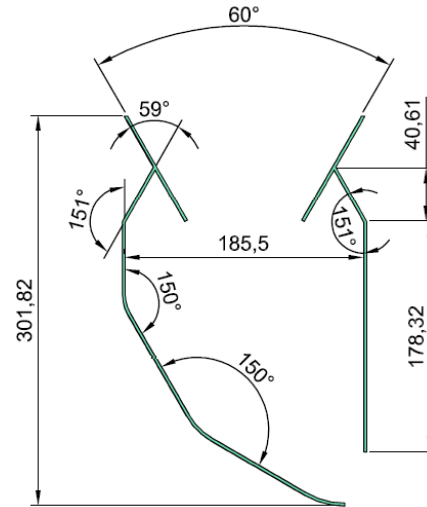
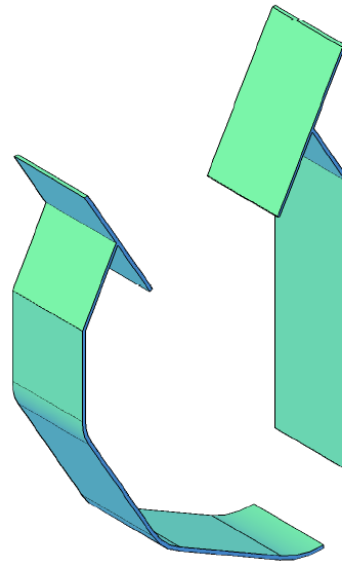
TAPAS FRONTALES



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA <input type="checkbox"/> Por certificar <input type="checkbox"/> Por eliminar <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Para información <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por calificar	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA REALIZADO POR: César Salas	TAPAS FRONTALES		
			Lámina 9-11	Escala	Fecha Marzo 2012

ANEXO X

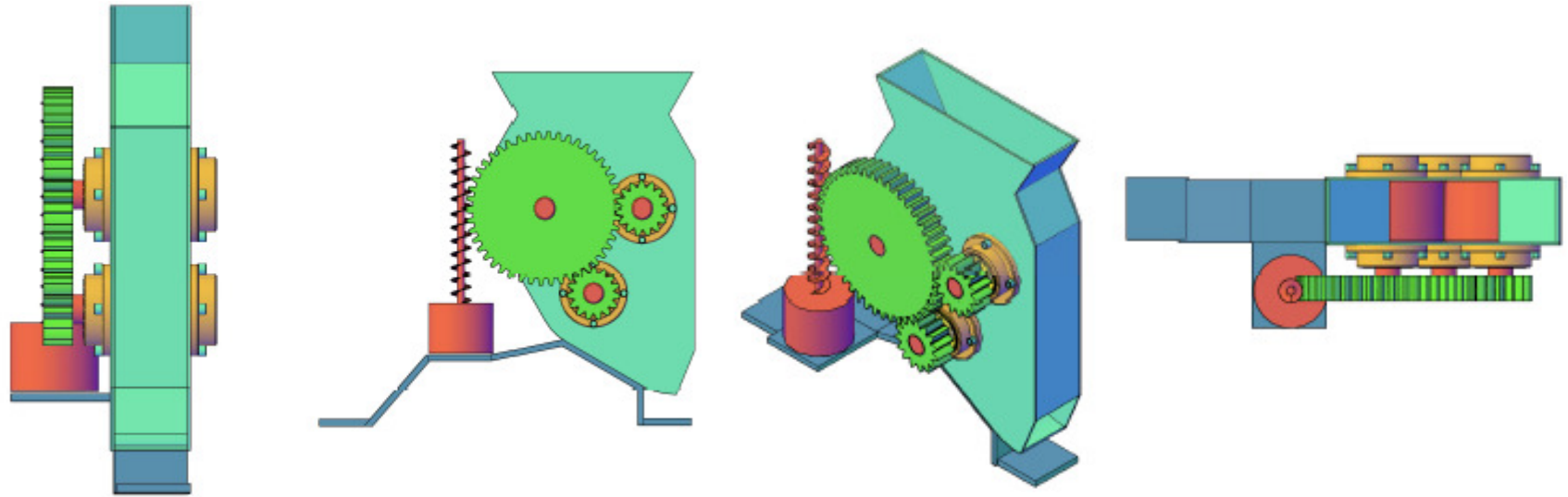
TAPAS LATERALES



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA REALIZADO POR:	TAPAS LATERALES			
			<div><div><input type="checkbox"/> Por certificar</div><div><input type="checkbox"/> Por aprobar</div><div><input type="checkbox"/> Aprobado</div></div> <div><div><input type="checkbox"/> Por eliminar</div><div><input type="checkbox"/> Para información</div><div><input type="checkbox"/> Por calificar</div></div>			
				Lámina 9-11	Escala	Fecha Marzo 2012
		César Salas				

ANEXO XI

VISTA DE MOLINO DE RODILLOS



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA REALIZADO POR:	VISTA DE MOLINO DE RODILLOS		
	<div> <input type="checkbox"/> Por certificar <input type="checkbox"/> Por eliminar </div> <div> <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Para información </div> <div> <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por calificar </div>		Lámina 11-11	Escala	Fecha Marzo 2012

César Salas